



**HAL**  
open science

# Évaluation du fardeau des troubles musculosquelettiques à l'horizon 2035 par modélisation dynamique

Hanifa Bouziri

► **To cite this version:**

Hanifa Bouziri. Évaluation du fardeau des troubles musculosquelettiques à l'horizon 2035 par modélisation dynamique. Santé. HESAM Université, 2023. Français. NNT: 2023HESAC004. tel-04103738

**HAL Id: tel-04103738**

**<https://theses.hal.science/tel-04103738>**

Submitted on 23 May 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **THÈSE**

présentée par : **Hanifa BOUZIRI**  
soutenue le : **24 mars 2023**

pour obtenir le grade de : **Docteur d'HESAM Université**  
préparée au : **Conservatoire national des arts et métiers**  
Discipline : **67 – Biologie des populations et écologie**  
Spécialité : **Sécurité Sanitaire**

## **Évaluation du fardeau des troubles musculosquelettiques à l'horizon 2035 par modélisation dynamique**

**THÈSE dirigée par :**  
**M. William DAB**, Professeur émérite, Le Cnam

**et co-encadrée par :**  
**M. Kévin JEAN**, MCF, Le Cnam

### **Jury**

**Mme. Isabelle RICHARD,**  
**M. Jack SIEMIATYCKI,**  
**M. Yann LE STRAT,**  
**M. Bradley EVANOFF,**

Professeure, EHESP  
Professeur, Université de Montréal  
Professeur, Santé Publique France  
Professor, Washington University,  
St. Louis

Présidente du jury  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examineur

**M. William DAB,**  
**M. Kévin JEAN,**

Professeur émérite, MESuRS, Le Cnam  
Maître de conférence, MESuRS, Le Cnam

Directeur de thèse  
Co-encadrant



## Affidavit

Je soussignée, Hanifa BOUZIRI, déclare par la présente que le travail présenté dans ce manuscrit est mon propre travail, réalisé sous la direction scientifique du Pr. William DAB (directeur) et de le Dr. Kévin JEAN (co-encadrant), dans le respect des principes d'honnêteté, d'intégrité et de responsabilité inhérents à la mission de recherche. Les travaux de recherche et la rédaction de ce manuscrit ont été réalisés dans le respect de la charte nationale de déontologie des métiers de la recherche.

Ce travail n'a pas été précédemment soumis en France ou à l'étranger dans une version identique ou similaire à un organisme examinateur.

Fait à Paris, le 24 mars 2023



## Affidavit

I, undersigned, Hanifa BOUZIRI, hereby declare that the work presented in this manuscript is my own work, carried out under the scientific direction of Pr. William DAB (thesis director) and of Dr. Kévin JEAN (co-thesis supervisor), in accordance with the principles of honesty, integrity and responsibility inherent to the research mission. The research work and the writing of this manuscript have been carried out in compliance with the French charter for Research Integrity.

This work has not been submitted previously either in France or abroad in the same or in a similar version to any other examination body.

Paris, 24 march 2023





*Je dédicace cette thèse à ma merveilleuse famille*

## Remerciements

Cette thèse n'aurait pas pu avoir lieu sans l'encouragement, le soutien, et la bienveillance de plusieurs personnes que j'aimerais remercier.

D'abord, à mes directeurs de thèse le Pr. William Dab et le MCF. Kévin Jean, j'aimerais chaleureusement vous remercier pour ces trois formidables années. Je n'arrive toujours pas à croire la chance que j'ai eu de pouvoir être encadrée par vous deux. Merci pour votre implication et votre présence assidue, merci d'avoir cru en moi, de m'avoir fait confiance, de m'avoir donné la liberté dont j'avais besoin pour m'épanouir professionnellement, de votre soutien à toute épreuve (petite pandémie qui a pointé le bout de son nez), mais surtout merci pour vos précieux enseignements. Vous avez su éveiller en moi un grand intérêt pour les questions de santé au travail. Il faut dire que ce sujet de thèse que vous avez construit, à l'image de vos profils complémentaires, en interface entre santé publique, épidémiologie et modélisation mathématique, est tout simplement passionnant. Non seulement par sa richesse scientifique, mais aussi parce qu'il aborde des questions d'actualité et ouvre la voie à des besoins concrets en matière de santé publique et de bien-être au travail. Je garde en mémoire nos échanges précieux, et suis très reconnaissante d'avoir pu bénéficier de votre expérience et expertise. En plus d'être des co-encadrants exceptionnels, vous m'avez également apporté beaucoup en tant qu'individus. À William, je tiens à te remercier pour ta passion de la transmission, pour tous les échanges stimulants que nous avons eus sur l'actualité en santé publique, pour ton partage d'expérience sur le terrain, ainsi que pour ta sagesse et ton calme remarquable. À Kévin, je te remercie pour ton humanité et tes engagements politiques, sociétaux et environnementaux. Tu es pour moi une véritable source d'inspiration, car tu m'as prouvé qu'il était tout à fait possible de conjuguer la qualité de scientifique d'excellence sur des sujets transdisciplinaires et expert dans son domaine, tout en ayant une vie riche à la fois en engagements citoyens, et en tant que mari/père aimant, impliqué et toujours présent pour ses proches.

Je tiens à remercier les Dr. Yann Le Strat, et Pr. Jack Siemiatycki, Isabelle Richard et Bradley Evanoff d'avoir accepté d'être les rapporteurs et examinateurs de mon travail. Je suis honoré de voir ce travail évalué par des scientifiques de leur envergure.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à l'équipe de Malakoff Humanis pour les échanges et l'intérêt vif qu'elle a manifesté pour ma thèse. Je voulais tout particulièrement souligner l'apport exceptionnel d'Anne-Sophie Godon-Rensonnet, qui a tout de suite vu la pertinence de notre projet, nous a encouragé, accompagné et soutenu financièrement. Je lui suis très reconnaissante pour son aide constante et sa générosité.

Je souhaite également remercier les Pr. Yves Roquelaure et Alexis Descatha pour leur disponibilité et le temps qu'ils ont consacré à notre projet, malgré leur planning bien chargé. Ils ont été une véritable source d'expertise pour notre sujet d'étude, grâce à leur connaissance des TMS qui s'est avérée absolument indispensable à toutes les étapes de la thèse, que ce soit pour

la réflexion et l'orientations de mes articles ou dans nos interprétations. C'était un véritable plaisir de travailler avec vous et je me fais une joie de pouvoir poursuivre nos échanges fructueux et passionnants à l'avenir. Je remercie également le Dr. Julie Bodin pour nos échanges et son expertise sur les TMS des membres supérieurs, ainsi que pour les précieuses sources qu'elle m'a partagées pour comprendre ces pathologies. Enfin je remercie l'ensemble de l'équipe Ester d'Angers, avec laquelle nous avons travaillé étroitement tout au long de cette thèse.

Ce travail a aussi très largement profité de l'implication du Dr. Nathanaël Hozé qui nous a guidé sur toute la partie modélisation dynamique, et qui m'a particulièrement aidé dans la compréhension et conception des modèles sérocatalytiques. Je te suis reconnaissante pour ton temps, ta pédagogie, ton enthousiasme, ta rigueur scientifique et ta bonne humeur. Chacun de nos échanges m'a apporté une richesse supplémentaire et j'ai été fière d'avoir eu la chance de réaliser ce travail avec toi. Les moments passés à travailler ensemble ont été un véritable plaisir, ils m'ont notamment rappelé les moments de complicité que nous avons partagés en Guyane, qui ont été fondateurs de notre amitié, et que je n'oublierai jamais.

Je tiens aussi à remercier Sylvie Hamont-Cholet pour son aide dans la mise en place de notre dossier pour les données des enquêtes *Eurostat* et pour nos échanges fructueux en début de thèse.

Mes plus sincères remerciements vont également à l'ensemble des membres actuels et anciens du laboratoire MESuRS pour leur chaleureux accueil et qui ont grandement contribué à faire de ce laboratoire un lieu de travail agréable et accueillant, où je me suis senti tout de suite comme chez moi.

Merci au Pr. Laura Temime de m'avoir accueilli dans son laboratoire, pour ses encouragements et ses conseils. Merci à Sylvie Znaty, Kamel Bahri, Isabelle Corbeau, René Bun, Frédérique Thonon, George Shirreff et Mohammed Ben Alima. Un remerciement tout particulier à mes chères amies Pearl Ante-Testard et Oumou Daouda pour leur chaleureuse hospitalité, leur bienveillance, nos sorties au restaurant, nos rires et nos moments de complicités. Merci à Hélène Neynaud pour sa gentillesse, sa bonne humeur, ses bons petits plats et l'attention particulière qu'elle porte à tous les membres de l'équipe. Merci à Karim Ait Bouziad d'être le véritable grand frère de ce labo, d'être toujours disponible pour des conseils professionnels ou personnels, et pour sa grande générosité.

Je tiens à remercier mes collègues et amis du bureau des doctorants et post-doctorants, Paul Henriot, Quentin Leclerc, Léo Moutet. Merci à eux pour leur bonne humeur constante, les moments de café gourmand passés ensemble et nos discussions. Merci à Morgane Trouillet et aux anciens membres du labo : à Rania Assab qui m'a particulièrement aidé et inspiré pour MT180, sans elle je ne serai pas arrivé jusque-là au concours, à Armyia, Ajmal, Tom, Sofia, Isa, Émilie, Théo, Yasmine, Cynthia, Pierre, Narimene, Mohamed, Kenza.

Je tiens également à remercier le MCF. Mounia Hocine de m'avoir donné l'opportunité de co-créer les vidéos de communications en « Santé, Planète et Société » et à l'équipe de l'Alliance en Santé Planétaire pour leur participation au projet.

Merci à Claude Flamand pour son soutien et sa bonne humeur, je garde d'excellents souvenirs de la Guyane et suis si heureuse que nous continuions à garder le contact et prolonger nos échanges.

Tout cela n'aurait pas été possible sans le soutien inconditionnel de ma famille. Je tiens donc à remercier mes parents pour leur incroyable soutien dans mes projets, pour avoir toujours cru en mes capacités, pour avoir créé un environnement où je me sentais en sécurité, pour m'avoir transmis l'amour de la connaissance et de l'art, pour leur sensibilité et leur engagement politique. Votre amour et votre soutien ont été un véritable moteur pour moi. Vous m'avez poussée à me dépasser et à croire que rien ne m'était impossible. Un grand merci à ma sœur et confidente Nesrine, quel privilège et bonheur de t'avoir dans ma vie. Merci à Molka, tata Lilia et tata Kalthoum, Anis et Salma.

A ma chère mamie Rubye que je remercie pour nos conversations passionnantes où nous réinventons le monde, pour ta vivacité d'esprit, ta culture cinématographique incomparable, tes précieux conseils et ta participation à mes projets (un clin d'œil spécial pour les vidéos de communication). Ta jeunesse éternelle et ton énergie sont une véritable source d'inspiration.

Merci à Pierre et Sylvie, pour leur soutien sans faille, leur bonne humeur et leur bienveillance. Merci à ma belle-sœur chérie Lorène pour son intelligence, sa générosité et son amitié. Merci à toute la famille Astic Fromenteau de m'avoir donné une deuxième famille, vous portez une place très spéciale dans mon cœur.

Merci à ma famille ici et en Tunisie. Merci à ma famille de cœur qui m'a apporté son soutien indéfectible, sa patience et son amour inconditionnel : à Adel, Olivia, Samy, Morgane, Clothilde, Arthur, Alba, Loulou, Salam, Ines, Eve et Mélanie.

To my dear and precious friend Caity, thank you for your kindness and your presence even on the other side of the world.

A mes très chers amis du Master AIV, à Sophia, Jakub et Alma. Merci à mes amies du Mastère spécialisé de santé publique, à Fanny, et à Lucie.

Merci à Maylis pour son empathie, à mon partenaire de sport et d'art Gaël, à ma douce et passionnante Swaélie et à mon intrépide Flore. Merci à David pour nos moments de complicité, nos nombreux restaurants, nos fous rires, nos confidences et ton soutien tout simplement. Merci à Jonathan et Antoine pour leur bonne humeur, nos sorties et nos moments de complicité. Merci à Lisa pour sa douceur, son amour du partage créatif, sa générosité, et sa sensibilité.

Et bien évidemment à Benjamin, merci pour tout, pour ta patience, ta compréhension, ton amour, notre complicité depuis 15 ans, tes encouragements et ton soutien à chaque étape de cette thèse.

## Résumé en français

Les troubles musculosquelettiques (TMS) sont l'une des principales causes de maladies professionnelles et d'incapacités dans le monde. En raison d'un risque individuel augmentant avec l'âge, les évolutions globales du contexte professionnel (vieillesse de la population active mondiale, allongement des carrières) sont susceptibles de se traduire par un fardeau accru de ces pathologies dans les prochaines décennies. Pourtant, peu d'efforts de recherche ont été déployés afin de produire des estimations fiables du fardeau de ces maladies sur les prochaines années. De telles projections pourraient pourtant apporter des éléments importants pour les entreprises et les pouvoirs publics, afin de mieux anticiper et prévenir ce fardeau futur.

L'objectif principal de cette thèse est de produire des projections du fardeau des TMS d'origine primaire à l'horizon 2035. Notre démarche a consisté dans un premier temps à déterminer si le risque individuel de TMS était de nature statique ou dynamique. Pour ce faire, une analyse exploratoire de la distribution spatio-temporelle des TMS dans le monde entre 1990 et 2019 en utilisant les données du *Global Burden of Disease* (GBD) a d'abord été effectuée. Cette étude a notamment mis en évidence une augmentation globale du fardeau des TMS et a démontré que les facteurs démographiques seuls ne suffisent pas à expliquer la distribution spatio-temporelle globale des TMS. La deuxième étude a visé à recueillir et à analyser les éléments de preuve disponibles concernant l'influence respective de l'âge et du temps séculaire sur la survenue des TMS en effectuant une revue systématique de la littérature. Cette revue a permis de mettre en évidence qu'en plus de l'âge, l'évolution des expositions professionnelles et des facteurs culturels en lien avec la reconnaissance de ces maladies, peuvent jouer un rôle dans les tendances temporelles des TMS. En d'autres termes, l'hypothèse d'un risque statique de TMS au cours du temps ne semble pas soutenue par la littérature scientifique, ce qui peut avoir des conséquences importantes pour les méthodes de projection du fardeau futur de ces pathologies

Nous avons dans un deuxième temps évalué la faisabilité et la pertinence de l'utilisation de modèles initialement développés pour l'étude de maladies infectieuses - les modèles sérocatalytiques - que nous avons adaptés à des affections de plus ou moins longues durées pour modéliser l'évolution passée des TMS et ensuite projeter leurs tendances temporelles jusqu'en 2035.

Ces modèles soutenaient l'hypothèse d'un risque individuel de TMS était de nature dynamique dans les évolutions passées. En reposant sur l'hypothèse d'un risque individuel dépendant du temps, ces mêmes modèles ont permis de produire des projections du nombre de personnes affectées par ces troubles à l'horizon 2035, projections qui étaient sensiblement plus élevées que celles obtenues sous l'hypothèse d'un risque individuel statique.

Ce travail de doctorat démontre ainsi qu'il est important de prendre à la fois en compte les effets de la démographie et des tendances séculaires pour l'obtention de projections de l'évolution de ces troubles. Il a également démontré que l'utilisation de modèles sérocatalytiques est faisable et pertinente pour projeter l'évolution des TMS liés au travail. Il a notamment permis de mettre en évidence la nécessité de considérer, pour une meilleure compréhension et prévention de ces dernières, non seulement l'effet de l'âge, mais également de l'évolution temporelle du risque de TMS en fonction de l'âge. Ce travail pourra ouvrir la voie à l'utilisation de ces modèles dans le cadre des études sur les TMS, afin à terme, d'aider à guider les politiques de prévention dans les entreprises et auprès de la population générale. En conclusion, les trois études présentées dans ce manuscrit offrent une vision globale de l'évolution des TMS liés au travail en prenant en compte l'âge et le temps séculaire et met en lumière l'importance de considérer ces deux facteurs pour une meilleure compréhension et prévention de ces pathologies.

**Mots clés :** Troubles musculosquelettiques, Modélisation, Projections, Santé Publique, Épidémiologie, Santé au Travail.

## Résumé en anglais

Musculoskeletal disorders (MSD) are one of the leading causes of occupational disease and disability worldwide. Due to an individual risk increasing with age, global changes in the professional context (ageing of the global working population, lengthening of careers) are likely to translate into an increased burden of these pathologies in the coming decades. However, few research efforts have been made to produce reliable estimates of the burden of these diseases over the next few years. Such projections could provide important information for companies and public authorities to better anticipate and prevent this future burden.

The main objective of this thesis is to make projections of the burden of MSD of primary origin by 2035. Our approach consisted of determining whether the individual risk of MSD was static or dynamic. To do this, we first carried out an exploratory analysis of the spatio-temporal distribution of MSD worldwide between 1990 and 2019 using data from the Global Burden of Disease (GBD). This study notably highlighted an overall increase in the burden of MSD and demonstrated that demographic factors alone are not sufficient to explain the overall spatio-temporal distribution of MSD. The second study aimed to collect and analyse the available evidence concerning the respective influence of age and calendar time on the occurrence of MSD by conducting a systematic review of the literature. This review has shown that in addition to age, the evolution of occupational exposure and cultural factors related to the recognition of these diseases, can play a role in the temporal trends of MSDs. In other words, the hypothesis of a static risk of MSD over time does not seem to be supported by the scientific literature, which may have important consequences for the methods of projecting the future burden of these pathologies.

We then assessed the feasibility and relevance of using models initially developed for the study of infectious diseases - serocatalytic models - which we adapted to more or less long-term conditions to model the time trend of MSDs and then project their time trends to 2035. These models supported the hypothesis that individual risk of MSD was dynamic in nature in past evolutions. Based on the assumption of a time-dependent individual risk, these models made it possible to produce projections of the number of people affected by these disorders by 2035, which were significantly higher than those obtained under static individual risk.



This doctoral work thus demonstrates that it is important to consider both the effects of demography and secular trends to obtain projections of the evolution of these disorders. It also demonstrated that using serocatalytic models is feasible and relevant to project the evolution of work-related MSD. In particular, it has made it possible to highlight the need to consider, for a better understanding and prevention of the latter, not only the effect of age but also the temporal evolution of the risk of MSDs according to age. . This work could pave the way for the use of these models in the context of studies on MSDs, in order ultimately to help guide prevention policies in companies and among the general population. In conclusion, the three studies presented in this manuscript offer a global vision of the evolution of work-related MSDs, considering age and secular time and highlighting the importance of considering these two factors for a better understanding. and prevention of these pathologies.

**Keywords:** Modeling, Musculoskeletal disorders, Projections, Public health, Epidemiology, Occupational health

# Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	5
<b>Résumé en français</b> .....	9
<b>Résumé en anglais</b> .....	11
<b>Introduction</b> .....	24
<b>Contexte et objectifs</b> .....	28
<b>1. Constat sur les TMS</b> .....	29
1.1. Une grande diversité de TMS.....	29
1.2. Un problème de santé publique.....	30
1.3. TMS et santé au travail.....	32
1.4. Un lien étroit entre TMS, absentéisme et accidents du travail.....	33
<b>2. Les facteurs de risques des TMS</b> .....	35
2.1. Les facteurs personnels .....	35
2.1.1. Les caractéristiques individuelles.....	35
2.1.1.1. Le genre.....	35
2.1.1.2. Les caractéristiques physiologiques, morphologiques et biologiques .....	36
2.1.1.3. L'âge.....	36
2.1.2. Les comportements individuels.....	37
2.1.3. Les vulnérabilités .....	37
2.2. Les facteurs professionnels .....	38
2.2.1. Les facteurs biomécaniques au travail .....	38
2.2.2. Les facteurs psychosociaux et organisationnels au travail.....	39
2.3. La contribution du travail au fardeau des TMS.....	44
2.3.1. Fractions de risque de TMS attribuables au travail.....	44
2.3.1.1. Rappel de définition de la fraction de risque attribuable .....	44
2.3.1.2. Exemples de fractions de risque de TMS attribuables au travail .....	44
2.3.2. Les secteurs concernés .....	49
2.3.3. La prévalence des TMS parmi les travailleurs .....	51
<b>3. Quelques aspects non élucidés de l'épidémiologie des TMS</b> .....	53
<b>4. Évolutions attendues du fait de la transformation du travail</b> .....	55
4.1. Contexte historique .....	55
4.1.1. Organisation taylorienne du travail.....	55

4.1.2.	Organisation fordienne du travail.....	56
4.1.3.	Crise du travail de 1960 .....	56
4.1.4.	Organisation toyotiste du travail .....	56
4.1.5.	L'intensification du travail .....	57
4.2.	Évolution des expositions professionnelles dans le secteur primaire .....	58
4.3.	Les effets de la désindustrialisation .....	58
4.4.	Le rôle des nouvelles technologies dans l'organisation au travail .....	59
4.4.1.	Technologie de production industrielle.....	60
4.4.2.	Technologie de l'information et de la communication .....	60
4.5.	Émergence des plateformes numériques à l'origine de nouveaux métiers .....	62
4.6.	Données sur les expositions professionnelles .....	63
4.7.	Évolution des expositions professionnelles.....	66
4.7.1.	Évolution des facteurs biomécaniques .....	66
4.7.2.	Évolution des facteurs organisationnels et psychosociaux .....	70
4.8.	Évolution de la démographie professionnelle et TMS .....	74
<b>5.</b>	<b>Des connaissances supplémentaires nécessaires pour une meilleure prévention .....</b>	<b>77</b>
<b>6.</b>	<b>Objectif général .....</b>	<b>79</b>
6.1.	Objectif principal.....	79
6.2.	Objectifs secondaires.....	79
<b>7.</b>	<b>Présentation succincte des données .....</b>	<b>80</b>
<b>Chapitre 1</b> Analyse de la distribution spatio-temporelle des troubles musculosquelettiques dans le monde de 1990 à 2019.....		<b>81</b>
<b>8.</b>	<b>Synthèse de l'article .....</b>	<b>82</b>
8.1.	Justification d'une étude spatio-temporelle des TMS .....	82
8.2.	Objectifs de l'étude .....	83
8.3.	Méthode.....	83
8.3.1.	Justification du choix des données issues du GBD .....	83
8.3.2.	Définition des cas .....	83
8.3.3.	Répartition spatiale et temporelle de la prévalence des TMS dans les pays et territoires, 1990-2019 .....	84
8.3.4.	Distribution de la prévalence des TMS compte tenu du niveau de revenu et de la densité médicale dans le monde .....	84
8.4.	Résumé des résultats .....	85
8.5.	Discussion .....	85

8.6.	Conclusion.....	86
<b>9.</b>	<b>Article.....</b>	<b>88</b>
<b>Chapitre 2</b>	<b>Peut-on distinguer le rôle des changements démographiques et temporels dans l'incidence et la prévalence des troubles musculosquelettiques ?.....</b>	<b>113</b>
<b>10.</b>	<b>Synthèse de l'article .....</b>	<b>114</b>
10.1.	Justification d'une revue systématique de la littérature .....	114
10.2.	Méthodes .....	114
10.2.1.	Stratégie de recherche .....	114
10.2.2.	Recherche documentaire .....	115
10.2.3.	Critères d'inclusion et d'exclusion.....	115
10.2.4.	Dépistage.....	116
10.2.5.	Extraction des données.....	116
10.2.6.	Évaluation du risque de biais et de qualité des preuves .....	116
10.2.7.	Analyse des tendances temporelles de la survenue des TMS .....	117
10.2.8.	Preuves synthétisées.....	117
10.3.	Résumé des résultats .....	117
10.3.1.	Études sélectionnées.....	117
10.3.2.	Caractéristiques générales de l'étude .....	118
10.3.3.	Risque de biais et qualité des études .....	118
10.3.4.	Tendances temporelles de l'incidence et de la prévalence des TMS .....	118
10.3.5.	Preuves synthétisées.....	119
10.4.	Discussion .....	120
10.5.	Conclusion.....	120
<b>11.</b>	<b>Article.....</b>	<b>122</b>
<b>Chapitre 3</b>	<b>Justification de l'utilisation des modèles sérocatalytiques pour la reconstruction de l'historique des TMS et les projections de l'évolution de ces pathologies.....</b>	<b>151</b>
<b>12.</b>	<b>Limites mises en lumière par l'analyse du GBD et la revue de la littérature .....</b>	<b>152</b>
<b>13.</b>	<b>Les données dont nous disposons .....</b>	<b>153</b>
13.1.	Brève description des enquêtes <i>Labour Force Survey (LFS)</i> d' <i>Eurostat</i> .....	153
13.2.	Particularité des données françaises .....	154
13.3.	Présentation des données pour 1999, 2007 et 2013 .....	155
<b>14.</b>	<b>Apports potentiels de l'utilisation de modèles compartimentaux.....</b>	<b>160</b>
<b>15.</b>	<b>Le choix des modèles sérocatalytiques .....</b>	<b>163</b>
<b>16.</b>	<b>Modèle sérocatalytiques adaptés aux TMS.....</b>	<b>166</b>

<b>Chapitre 4</b>	Reconstruire la dynamique passée des TMS liées aux travail et projection des tendances futures en utilisant des modèles sérocatalytiques .....	168
<b>17.</b>	<b>Synthèse de l'article</b> .....	169
17.1.	Objectifs .....	169
17.1.1.	Les données utilisées .....	169
17.1.2.	Définition de cas.....	169
17.1.3.	Les 11 modèles sérocatalytique adapté aux TMS .....	170
17.1.4.	Estimations à l'aide du cadre statistique bayésien .....	170
17.1.5.	Sélection du meilleur modèle, validation et projection.....	171
17.2.	Résultats .....	172
17.2.1.	Description des données.....	172
17.2.2.	Modélisation sérocatalytique pour évaluer l'histoire de survenue des TMS .....	172
17.2.3.	Projection des tendances temporelles des TMS d'ici 2035.....	173
17.3.	Discussion .....	173
17.4.	Conclusion.....	176
<b>18.</b>	<b>Article</b> .....	178
	<b>Discussion générale</b> .....	201
<b>19.</b>	<b>Résumé de l'ensemble des résultats</b> .....	202
<b>20.</b>	<b>Les limites</b> .....	204
20.1.	Limites des données .....	204
20.2.	Limites dues aux projections démographiques .....	204
	<b>Perspectives</b> .....	206
<b>21.</b>	<b>Proposition d'autres modèles dynamiques pour produire des projections des TMS</b>	208
21.1.	Analyse âge-période-cohorte.....	208
21.2.	Fractions polynomiales dans un modèle additif généralisé.....	208
21.3.	Modèles de microsimulation .....	212
<b>22.</b>	<b>Les données nécessaires pour projeter l'évolution des TMS</b> .....	215
22.1.	Exemples de données d'expositions professionnelles et individuelles envisageables.....	215
22.1.1.	Les données issues des enquêtes SUMER .....	215
22.1.2.	Enquêtes Santé et itinéraire professionnel (SiP) .....	216
22.1.3.	Enquêtes Conditions de travail.....	216
22.2.	Exemples de données sur les TMS.....	216

<b>23.</b>	<b>La cohorte Constances, « un laboratoire épidémiologique ouvert »</b> .....	218
<b>24.</b>	<b>TMS et télétravail avant, pendant et après la pandémie de COVID-19</b> .....	219
24.1.	Le télétravail avant la pandémie de COVID-19.....	220
24.2.	Conséquences du télétravail pendant et après la pandémie.....	221
24.2.1.	Télétravail pendant la pandémie et potentiels impacts pour la santé .....	221
24.2.2.	Lettre de communication publiée dans le journal OEM .....	224
24.2.3.	Le télétravail après la pandémie .....	226
24.2.4.	Perspectives pour les années à venir .....	226
	<b>Conclusion</b> .....	228
	<b>Summary of overall results, limitations, and the general conclusion</b> .....	231
<b>25.</b>	<b>Overall results</b> .....	232
<b>26.</b>	<b>Limitations</b> .....	234
<b>27.</b>	<b>General conclusion</b> .....	235
	<i>Conclusions personnelles</i> .....	237
	<b>Références</b> .....	239
	<b>Annexes</b> .....	266
	Résumé .....	275
	Résumé en anglais .....	275

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Récapitulatif de TMS fréquents selon leur localisation, facteurs personnels, biomécaniques, psychosociaux et organisationnels .....	42
<b>Tableau 2</b> : Synthèse bibliographique non exhaustive recensant des exemples de fractions attribuables (FA) connues par facteurs de risques et/ou secteurs d'activités. ....	45
<b>Tableau 3</b> : Exemple d'enquêtes avec suivi temporel des expositions professionnelles .....	64
<b>Tableau 4</b> : Évolution des contraintes physiques dans le travail en France de 1999 à 2010 (en %) .....	69
<b>Tableau 5</b> : Contraintes organisationnelles et relationnelles.....	72
<b>Tableau 6</b> : Intensité du travail et tensions entre collègues selon les situations de précarité et les changements dans le travail. ....	74
<b>Tableau 7</b> : Résumé global des prévalences des TMS globales et parmi les problèmes de santé liés au travail, le nombre d'individus par enquêtes et parmi les personnes ayant eu un ou des problèmes de santé liés au travail et les données manquantes, issues des enquêtes <i>LFS d'Eurostat</i> pour 1999, 2007 et 2013. ....	157
<b>Tableau 8</b> : Avantages et limites de l'utilisation de modèles compartimentaux pour étudier l'effet de l'âge et du temps de travail sur la survenue des TMS dans une population de travailleurs (Auchincloss & Diez Roux, 2008; Brauer, 2017; Jung, 2018; Rubin et al., 2021).....	162
<b>Tableau 9</b> : Récapitulatif des analyses APC et des fractions polynomiales dans un modèle additif généralisé .....	210
<b>Tableau 10</b> : Impacts du télétravail sur la santé, spécificité du confinement lié à la pandémie de COVID-19 et mesures de prévention clés pour l'employeur.....	223

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Schéma des localisations des principales TMS cliniquement caractérisées.....	30
<b>Figure 2</b> : Estimations des prévalences standardisées selon l'âge des TMS pour 100 000 habitants en 2017, par pays. ....	31
<b>Figure 3</b> : Pourcentage de travailleurs signalant un problème de santé lié au travail, par type de problème, UE-27, 2013. ....	32
<b>Figure 4</b> : Modèle organisationnel des situations génératrices de TMS.....	41
<b>Figure 5</b> : Pourcentage de travailleurs reportant des TMS dans le bas du dos, les membres supérieurs et inférieurs dans les 12 derniers mois par secteur par secteurs d'activités, EU-28, 2015.....	50
<b>Figure 6</b> : Pourcentage de travailleurs déclarant souffrir de troubles chroniques du dos et/ou du cou par pays, 2014.....	51
<b>Figure 7</b> : Index sur l'environnement physique (0-100) par pays entre 2005 et 2015 .....	67
<b>Figure 8</b> : Répartition des heures hebdomadaires habituellement travaillées par catégories d'âge pour les hommes et les femmes de 2005 à 2015 en Europe d'après l'enquête EWCS (en %). ....	70
<b>Figure 9</b> : Proportion d'individus ayant des TMS en fonction du nombre de problèmes de santé liés à leur travail en 1999, 2007 et 2013, avec une distinction entre ceux ayant "un" problème et ceux en ayant "deux ou plus.....	158
<b>Figure 10</b> : Prévalence des TMS (en %) selon l'âge, l'année d'enquête LFS et le pays. ....	159
<b>Figure 11</b> : Exemple de représentation de modèle SIR (susceptible, infecté, rétablis) (Auchincloss & Diez Roux, 2008; Brauer, 2017; Jung, 2018; Rubin et al., 2021).....	161
<b>Figure 12</b> : Modèle sérocatalytique réversible .....	164
<b>Figure 13</b> : Modèle SEA adapté à une affection transitoire (SEA). ....	214
<b>Figure 14</b> : Pourcentage de personnes télétravaillant à domicile de l'emploi total entre 2011 et 2019.....	221



# Liste des abréviations

<b>A</b>		(LFS) ..... 32
Accidents du Travail/Maladies Professionnelles (AT/MP)..... 217		
Années de Vie Perdues Corrigées par Incapacité (DALY) ..... 31		
Années Vécues avec une Incapacité (AVI) ..... 31		
<b>C</b>		
Classification Internationale des Maladies (CIM-10) ..... 29		
Cochran-Armitage (CA) ..... 84		
<b>E</b>		
Enquête européenne par interview sur la santé d'Eurostat (EHIS)..... 51		
<i>European Working Conditions Surveys (EWCS)</i> , ..... 26		
<b>F</b>		
fraction de risque attribuable (FA)..... 44		
<b>G</b>		
<i>Global Burden of Disease</i> (GBD)..... 27		
<b>I</b>		
Institut national de recherche sur la sécurité et la santé au travail (INRS) ..... 33		
<b>L</b>		
<i>Labour Force Survey</i>		
<b>N</b>		
<i>National Institute for Occupational Safety &amp; Health</i> (NIOSH) ..... 38		
Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC)..... 59		
<b>O</b>		
<i>Occupational Environmental Medicine</i> (OEM-BMJ)..... 220		
Organisation mondiale de la santé (OMS)..... 33		
Organisation Mondiale de la Santé (OMS)..... 61		
<b>P</b>		
Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-analysis (PRISMA)..... 114		
Produit Intérieur Brut (PIB) ..... 52		
Programme de Médicalisation des Systèmes d'Informations (PMSI) ..... 213		
<b>S</b>		
Syndrome du Canal Carpien (SCC)..... 36		
<b>T</b>		
Taux d'incidence standardisé par âge (ASR) ..... 31		
Total des Années Cécues avec une Incapacité (YLD) ..... 31		
Troubles Musculo-squelettiques (TMS) ..... 25		

## Liste des annexes

<b>Annexe 1</b> Extrait du rapport de 2009 du module Ad-hoc de l'enquête LFS de 2007 .....	267
<b>Annexe 2</b> Questions sur les TMS dans le questionnaire issu module ad-hoc sur la santé et la sécurité au travail dans l'enquête LFS de 1999.....	272
<b>Annexe 3</b> Questions sur les TMS dans le questionnaire issu du module ad-hoc sur la santé et la sécurité au travail dans l'enquête LFS de 2007.....	273
<b>Annexe 4</b> Questions sur les TMS dans le questionnaire issu du module ad-hoc sur la santé et la sécurité au travail dans l'enquête LFS de 2013.....	274

# Valorisation scientifique durant la thèse

## Productions dans des revues à comité de lecture :

### Sur ma thématique doctorale :

#### Articles :

- **Bouzi H**, Descatha A, Roquelaure Y, Dab W, Jean K. Can we distinguish the roles of demographic and temporal changes in the incidence and prevalence of musculoskeletal disorders? A systematic review, *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 2022. <https://doi.org/10.5271/sjweh.4018>
- **Bouzi H**, Roquelaure Y, Descatha A, Dab W, Jean K. The spatio-temporal distribution of musculoskeletal disorders: results of the Global Burden of Disease in 204 countries and 21 subregions between 1990 and 2019, (under review) medRxiv, <https://doi.org/10.1101/2022.09.16.22280040>
- **Bouzi H**, Hozé N, Roquelaure Y, Descatha A, Hamon-Cholet S, Dab W, Jean K. Reconstructing past dynamic of work-related musculoskeletal disorders and projecting future trends: insight from serocatalytic models, (under submission)

#### Lettre de communication :

- **Bouzi H**, R.M.Smith D, Descatha A, Dab W, Jean K. Working from home in the time of COVID-19: how to best preserve occupational health? *Journal of Occupation & Environmental Medicine – BMJ*, 2020. <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-106599>

### En dehors de ma thématique doctorale :

#### Articles :

- Velardo F, **Bouzi H**, Adélaïde L, Oliosi E, Layan M, Descamps A, Berthod D, R. Patlán-Hernández A, Ledrans M, Pivette M, Lefort M, Roux J, Crépey P. A cross-sectional study on infectious health risks regarding freshwater sports practice in Brittany, France. *Journal of Water & Health*, 2022. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.232>
- R. M. Smith D, Jijón S, Oodally A, Shirreff G, Aït Bouziad K, Ante-Testard PA, Bastard J, **Bouzi H**, Salama Daouda O, Duchemin T, Godon-Rensonnet AS, Henriot P, Houry Y, Neynaud H, Perozziello A, Thonon F, Crépey P, Dab W, Jean K, Temime L. Sick-leave due to COVID-19 during the first pandemic wave in France, 2020. *Journal of Occupation & Environmental Medicine – BMJ*, 2023. <https://doi.org/10.1136/oemed-2022-108451>
- **Bouzi H**, Jean K, Flamand C. Seroprevalence of hantaviruses worldwide: a systematic scoping review (en cours de finalisation)

## Présentations en congrès et séminaires internationaux :

### Présentations orales :

- 14th European Public health Conference.  
**Bouzi H**, Descatha A, Dab W, Jean K. Disentangling the roles of demographic and temporal trends in musculoskeletal disorders. *European Journal of Public Health*, 2021. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckab165.494>

### Présentations de poster :

- Congrès International d'Épidémiologie – Adelf-Epiter, 2022.  
Bouzi H, Roquelaure Y, Descatha A, Dab W, Jean K. Analyse spatio-temporelles des TMS à partir du Global Burden of Disease, 1990 à 2019. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2022.06.234>

## Communication scientifique au grand public :

- Premier prix du jury MT180 (« Ma thèse en 180 secondes ») édition 2022, de HESAM Université. <https://www.hesam.eu/actus-1404>
- Pilotage de vidéos de communications sur les thématiques de « Santé, Planète et Société » coordonné par la Pr. Mounia Hocine, co-piloté avec la Dr. Pearl Ante-Testard, en collaboration avec l'association de l'Alliance en Santé Planétaire. Les illustrations, animations, montages audios et vidéos ont été fait par la designer Lisa Dehove, et les scripts des vidéos ont été co-écrit par Lisa Dehove et moi-même.

**Vidéo 1** : Qu'est-ce que la santé planétaire ?

Lien : <https://www.youtube.com/watch?v=iMQ0uHjb6uo&t=21s>

**Vidéo 2** : La Terre vue comme un système – Pas de bonne santé sans biodiversité

Lien : <https://www.youtube.com/watch?v=srh61pC5M9Y&t=18s>

**Vidéo 3** : Comment les pandémies ont mis les sciences au défi ?

Lien : <https://www.youtube.com/watch?v=7qLzSIA0tY8&t=428s>

**Vidéo 4** : Qu'est-ce que l'exposome ?

Lien : <https://www.youtube.com/watch?v=ZjpY-BEVTAI&t=13s>

**Vidéo 5** : Quelques solutions de santé planétaire

Lien : <https://www.youtube.com/watch?v=B4lqr58ISLM&t=1098s>

Un [document](#) a été créé et mis en accès libre sur le site du Cnam comme suggestion de sources supplémentaires pour approfondir ses connaissances sur les thématiques traitées dans les vidéos.

# **Introduction**

Les troubles musculosquelettiques (TMS) sont un groupe de pathologies dégénératives qui affectent les muscles, les tendons, les ligaments, les articulations, les nerfs périphériques et les structures de soutien, telles que les disques intervertébraux. Ces affections représentent un lourd fardeau<sup>1</sup>, touchant chaque année plus d'une personne sur quatre (World Health Organization, 2022). Selon le rapport de l'Organisation internationale du travail (OIT), sur près de 160 millions de troubles liés au travail qui surviennent chaque année dans le monde, les TMS sont la deuxième maladie professionnelle la plus courante. Ces pathologies qui pour la plupart évoluent par poussée et peuvent entraîner une douleur, une raideur, une limitation de la mobilité, ainsi qu'une grande variété de symptômes qui diffèrent en intensité (National Research Council (US) and Institute of Medicine (US) Panel on Musculoskeletal Disorders and the Workplace, 2001a). Ils peuvent être légers et modérés ou chroniques et invalidants. En outre, ces troubles peuvent affecter la qualité de vie et la capacité à effectuer les activités de la vie quotidienne. Les TMS ont également un impact économique important, en raison des coûts de traitement et des coûts indirects tels que la perte de productivité au travail.

Les TMS sont des pathologies multifactorielles qui peuvent être causées par une ou plusieurs expositions à des facteurs de risque tels que des facteurs personnels, professionnels, environnementaux, comportementaux, des prédispositions génétiques et socio-culturelles, le genre et la catégorie socio-professionnelle. Les évolutions de ces expositions au cours de la vie peuvent aussi considérablement influencer sur la survenue des TMS. Il a par ailleurs très largement été montré que l'incidence de la plupart des TMS d'origine non inflammatoire augmente significativement avec l'âge (Nambiema, 2020; J. Lee et al., 2022). Le vieillissement peut en effet entraîner des changements physiologiques qui augmentent le risque de développer des TMS, tels que la perte de masse musculaire, la diminution de la flexibilité et de la force musculaire et une diminution de la densité osseuse (Villa-Forte, 2022). De plus, certaines activités professionnelles induisant des contraintes biomécaniques et du stress, couplées à un mode de vie sédentaire et une mauvaise posture peuvent également augmenter le risque de TMS (Gheno et al., 2012). A cela s'ajoute le fait que dans les années à venir la proportion croissante de personnes âgées dans la population mondiale est attendue, pouvant induire un changement

---

<sup>1</sup>On entend par « fardeau des TMS » la définition décrite par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), qui définit le fardeau d'une maladie par l'addition de la notion de morbidité et de mortalité en nombre de cas (Hessel, 2008). Or les TMS ont majoritairement un impact en termes de morbidité. Nous nous focaliserons donc sur cette définition pour la suite de ce manuscrit avec un focus particulier pour la prévalence des TMS.

de la structure de la population active, avec un nombre plus élevé de personnes âgées qui continueront à travailler plus longtemps avant de prendre leur retraite.

La plupart des études sur les TMS ont été consacrées à l'identification des facteurs de risques, mais il existe très peu de travaux de nature prospective. Pourtant, il serait utile d'avoir des projections précises du fardeau des TMS pour plusieurs raisons. Ces projections pourraient notamment aider à déterminer la nécessité de soin de santé, tels que les types de traitements et de réadaptation nécessaire, ainsi que les coûts associés à ces interventions. Elles pourraient également aider à évaluer les dépenses prévues pour la sécurité sociale ou les mutuelles en cas d'invalidité ou d'incapacité professionnelles. En outre, les projections des TMS pourraient permettre d'évaluer l'impact des stratégies de prévention en fonction de différents scénarios.

Les approches courantes des projections de TMS appliquent les taux d'incidence ou de prévalence actuels aux projections de population en ignorant les tendances temporelles de l'incidence par âge (Leino, 1989; Suka & Yoshida, 2009; Ackerman et al., 2019). L'une des principales limites de cette approche que l'on peut qualifier de statique, tient au fait qu'elle repose sur l'hypothèse que le risque individuel des TMS selon l'âge est constant dans le temps, sans tenir compte des évolutions potentielles des expositions (*European Working Conditions Surveys (EWCS)*, 1990).

Compte tenu de ce que l'on sait du rôle des facteurs de risque environnementaux, comportementaux et professionnels dans la survenue des TMS et de leurs évolutions depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, il est nécessaire de vérifier de manière dynamique<sup>2</sup>, si le risque individuel de TMS varie uniquement en fonction de l'âge ou si les tendances séculaires doivent également être prises en compte dans la projection des TMS. S'il s'avère qu'une approche dynamique est à privilégier dans la compréhension de l'évolution de ces affections, alors cela signifierait que pour produire des projections précises de ces pathologies il est nécessaire de prendre en compte en plus de l'âge, le temps séculaire dans les expositions.

L'enjeu de déterminer, pour la modélisation de tendances futures des TMS, si le risque individuel en fonction de l'âge change ou non au cours du temps (c'est-à-dire déterminer si ce risque est statique ou dynamique) est loin d'être seulement théorique. Des recherches

---

<sup>2</sup> Ici on entend par « dynamique » le risque individuel de développer un ou plusieurs TMS au cours du temps

antérieures ont en effet montré que dans les pathologies pour lesquels les facteurs de risques variaient dans le temps, notamment la démence, les estimations de projection pouvaient être significativement affectées par la prise en compte ou non des changements de temps séculaire<sup>3</sup> dans les expositions, et varier du simple au double (Ahmadi-Abhari et al., 2017).

L'objectif principal de cette thèse est d'obtenir des projections du fardeau des TMS à l'horizon 2035. Pour cela, notre démarche consiste dans un premier temps à déterminer si le risque individuel de TMS est de nature statique ou dynamique. Dans l'éventualité où il serait de nature dynamique, alors nous mobiliserons des modèles déjà existant issus des maladies infectieuses permettant de prendre en compte l'effet de l'âge et du temps séculaire. Nous voulons évaluer la pertinence et la faisabilité de ces modèles pour produire des projections des tendances futures de ces affections.

Afin de mener à bien cet objectif, une étude exploratoire initiale a d'abord été réalisée en utilisant les données du *Global Burden of Disease* (GBD) et une revue systématique de la littérature afin de déterminer si des données permettant de distinguer les rôles respectifs de l'âge et du temps séculaire dans l'apparition des TMS sont disponibles. Par la suite, un deuxième travail a consisté à modéliser l'évolution passée des TMS en utilisant des modèles couramment utilisés dans l'étude des maladies infectieuses, tels que les modèles sérocatalytiques, adaptés aux maladies non-transmissibles. Plusieurs combinaisons de modèles ont été testées en prenant en compte l'effet de l'âge et/ou du temps dans l'apparition des TMS, et des projections de ces pathologies jusqu'en 2035 ont été réalisées sur la base des modèles qui semblaient le mieux représenter les données observées antérieurement.

---

<sup>3</sup> Le temps séculaire se réfère au nombre de jours ou d'années écoulées et dans notre cas permet de capturer l'effet de l'évolution des expositions professionnelles, des méthodes de diagnostics et ou les politiques de prévention.



## **Contexte et objectifs**

# 1. Constat sur les TMS

## 1.1. Une grande diversité de TMS

Les TMS sont des affections inflammatoires et/ou dégénératives regroupant une grande diversité de troubles distincts comptant environ 150 pathologies répertoriées dans la classification internationale des maladies (CIM-10) (*ICD-10 Version:2019*, n.d., p. 2019). Ces pathologies sont caractérisées par des lésions au niveau des tissus mous péri-articulaires (muscles, tendons, articulations) et des nerfs périphériques secondaires (Report of a WHO Scientific Group, 2003; Santé Publique France, 2017; World Health Organization, 2022). Elles résultent d'origines diverses que l'on peut distinguer en plusieurs catégories :

- Les TMS d'origines primaires provenant d'une hypersollicitation de l'appareil locomoteur souvent résultant de facteurs environnementaux, de comportements individuels, ou bien d'expositions professionnelles (Roquelaure, 2017) ;
- Les TMS d'origines secondaires que l'on peut caractériser par une ou des déficiences provenant de processus infectieux, inflammatoires ou dégénératifs, d'événements traumatisants, développementaux, de maladies néoplasiques, vasculaires ou toxiques/métaboliques (National Academies of Sciences et al., 2020) ;
- Les TMS provenant de processus pathologiques, congénitaux ou acquis (National Academies of Sciences et al., 2020).

Pour le reste de ce travail nous nous focaliserons sur les TMS d'origine primaire pour lesquels les moyens de préventions envisageables se situent soit en amont (prévention primaire) ou au début (prévention secondaire) de l'apparition de la pathologie, contrairement aux deux autres catégories pour lesquelles une prévention tertiaire<sup>4</sup> est privilégiée. Les signes cliniques des TMS sont multiples : ils se manifestent la plupart du temps par des douleurs plus ou moins aiguës, une fatigue posturale, des troubles pouvant être réversibles ou non, limitant la mobilité et la dextérité (Laffont, 2015). Ces troubles peuvent se localiser tant au niveau du dos que dans

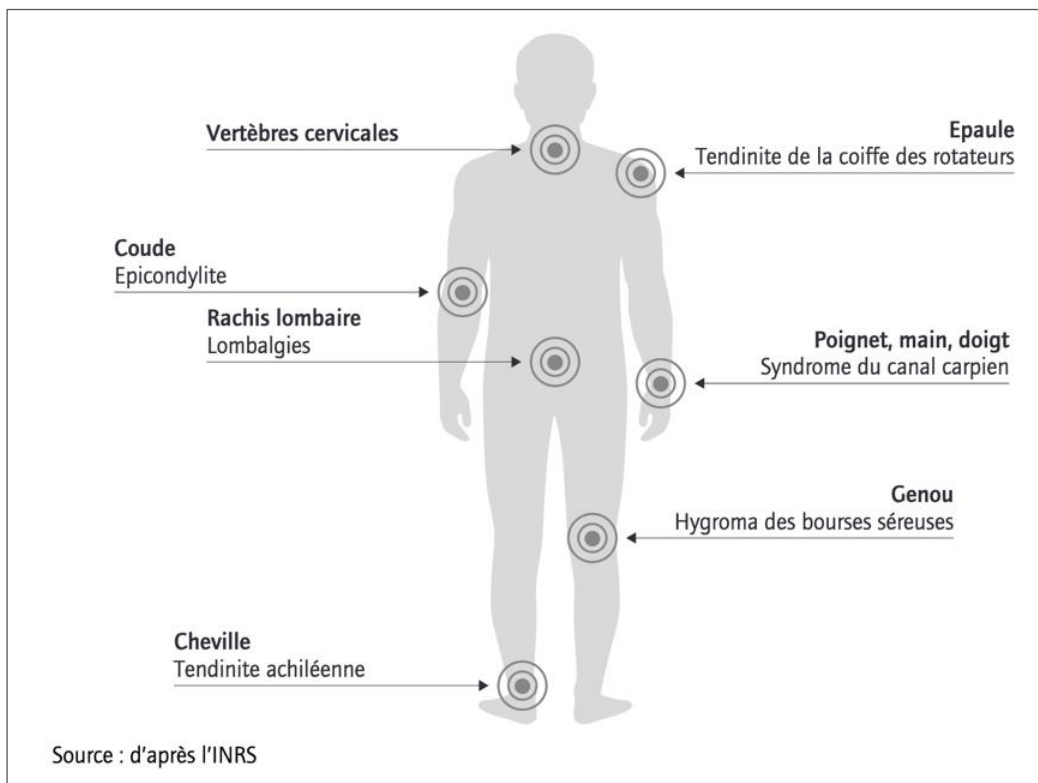
---

<sup>4</sup>La prévention tertiaire vise à réduire la progression et les complications de la maladie avérée ou d'un problème de santé.

les membres supérieurs ou inférieurs, pouvant conduire à des maladies rhumatismales et des affections dégénératives telles que l'arthrose ou l'ostéoporose (**Figure 1**) (Roquelaure, 2018b).

Ces pathologies peuvent conduire à une capacité fonctionnelle réduite pouvant considérablement impacter la qualité de vie des personnes affectées, en particulier lorsque les douleurs sont localisées dans plusieurs zones anatomiques et/ou sont persistantes au cours du temps. Au-delà des douleurs physiques, les conséquences des TMS sur le long terme sont nombreuses : restrictions d'aptitude, impossibilité de pratiquer du sport, impact sur la santé mentale résultant des douleurs et du handicap pouvant réduire les interactions sociales ou encore absences répétées au travail pouvant aboutir à une désinsertion professionnelle (Roquelaure, 2018b).

**Figure 1** : Schéma des localisations des principales TMS cliniquement caractérisées.



Note : graphique issu du livre de Yves roquelaure sur les « Troubles musculosquelettiques et facteurs psychosociaux au travail » publié en 2018 (Roquelaure, 2018b)

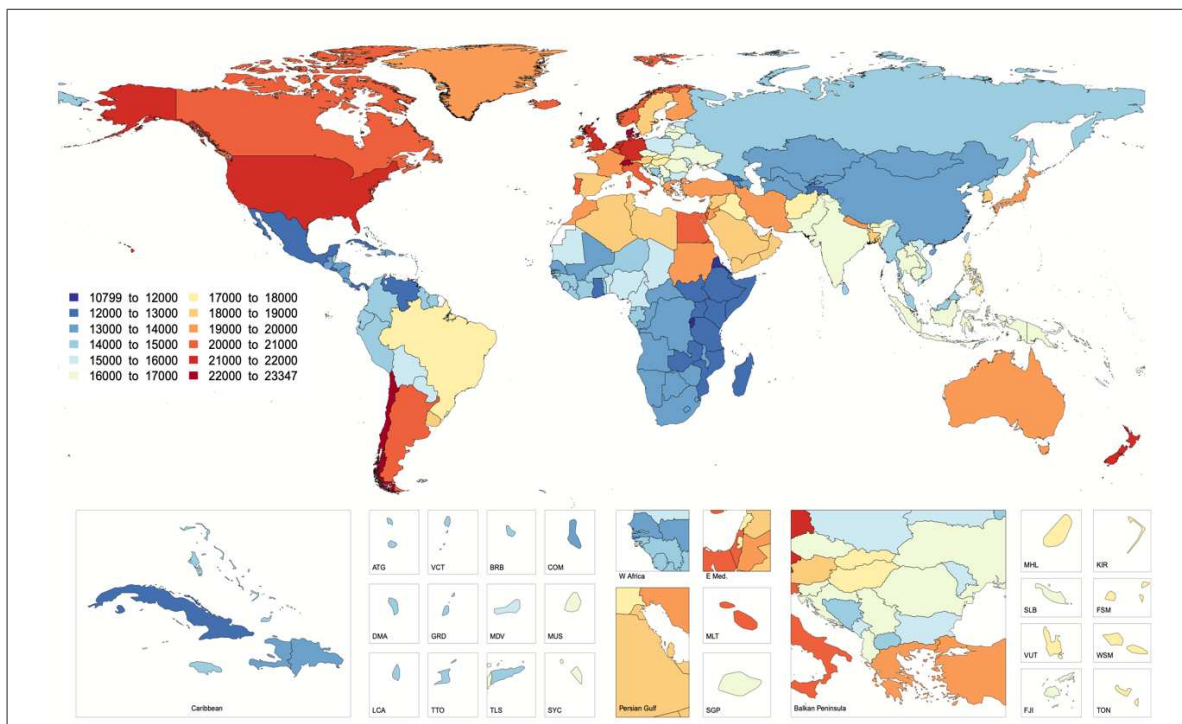
## 1.2. Un problème de santé publique

Les TMS sont parmi les pathologies non-transmissibles les plus courantes et les plus invalidantes dans le monde. En 2019, plus de 1,7 milliard de personnes étaient atteintes de TMS,

incluant les douleurs de lombalgies, de cervicalgies, de fractures et autres blessures, arthroses, et polyarthrites rhumatoïdes (World Health Organization, 2022). Les lombalgies sont les plus fréquentes et les plus invalidantes, estimées comme étant la principale cause d'années vécues avec une incapacité (AVI) dans 160 pays (Blyth et al., 2019; Cieza et al., 2020).

Selon les données du GBD, en 2017, ils ont été impliqués dans la survenue de 121 300 décès dans le monde, avec un taux de mortalité normalisé selon l'âge de 1,6 pour 100 000 habitants (Safiri et al., 2021, pp. 1990–2017). L'étude a montré que la prévalence standardisée sur l'âge variait de 10% à 23% selon les pays, avec de plus grandes prévalences dans les pays du Nord (**Figure 2**). La prévalence globale des TMS était plus élevée chez les femmes que chez les hommes et augmentait avec l'âge, atteignant un pic entre 50 et 54 ans avant de diminuer avec l'âge. En 2017, les TMS se classaient au cinquième rang des causes d'années de vie perdues corrigées par incapacité (DALY), représentant respectivement 5,6% du total des DALY et 15,9% du total des années vécues avec une incapacité (YLD) (GBD 2017 DALYs and HALE Collaborators, 2018 ; James et al., 2018). Le taux d'incidence standardisé par âge (ASR) mondial des TMS était de 4 172,67 pour 100 000 en 2017, avec des variations allant jusqu'à 2,5 fois entre pays (Jin et al., 2020).

**Figure 2** : Estimations des prévalences standardisées selon l'âge des TMS pour 100 000 habitants en 2017, par pays.



Sources : graphique issu de l'article de Safiri et al., 2021, pp. 1990–2017 à partir des données disponibles sur <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.

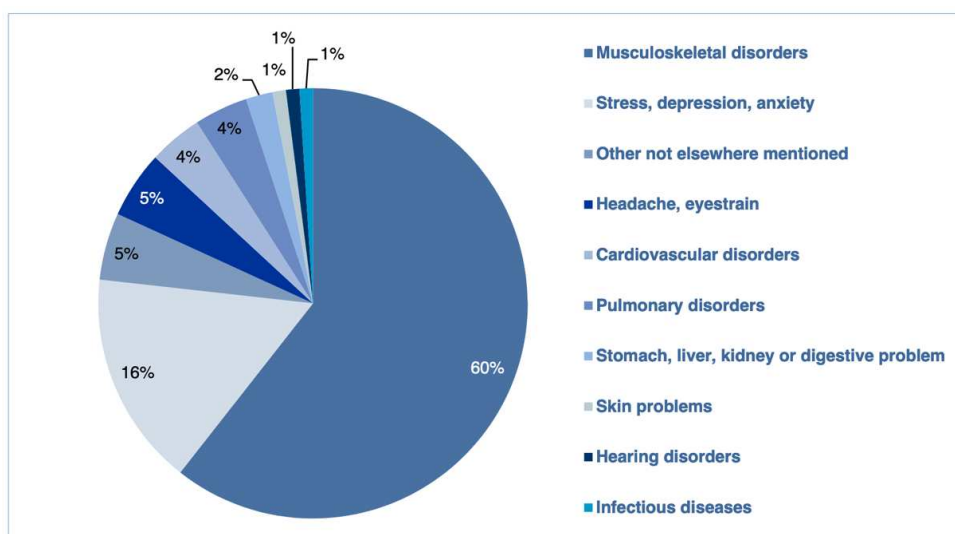
Légende : ATG = Antigua-et-Barbuda ; VCT = Saint-Vincent-et-les Grenadines ; BRB = Barbade ; COM = Comores ; DMA = Dominique ; GRD = Grenade ; MDV = Maldives ; MUS = Maurice ; LCA = Sainte-Lucie ; TTO = Trinité et Tobago ; TLS = Timor oriental ; SYC = Seychelles ; E. Med = Méditerranée orientale ; MLT = Malte ; SGP = Singapour ; MHL = Îles Marshall ; KIR = Kiribati ; SLB = Îles Salomon ; FSM = États fédérés de Micronésie ; VUT = Vanuatu ; WSM = Samoa ; FJI = Fidji ; TON = Tonga.

### 1.3. TMS et santé au travail

Les TMS sont les principaux contributeurs au fardeau des maladies professionnelles, affectant près de la moitié des travailleurs européens et plus d'un cinquième de la population mondiale (Safety and health at work EU-OSHA, 2019). Selon les pays, les TMS peuvent représenter jusqu'à plus de 80% des maladies professionnelles (Safety and health at work EU-OSHA, 2019; French Public Health (SPF), 2022). De multiples études ont par ailleurs estimé que plus de 40% des lombalgies globales étaient liées au travail (Eurostat, 2021). Ces pathologies à fort potentiel de chronicité ont souvent un fort impact sur la qualité de vie personnelle et professionnelle des individus (Shiels et al., 2004).

Parmi les travailleurs européens ayant des problèmes de santé liés au travail au cours des 12 mois précédents l'enquête *Labour Force Survey* (LFS), les TMS étaient de loin les affections les plus fréquentes, avec une prévalence globale de 60% en 2013, en Europe (**Figure 3**) (Eurostat, 2021). La plupart des TMS liés au travail sont des troubles cumulatifs (également appelés TMS chroniques) résultant d'une exposition répétée à des risques de haute ou faible intensité sur une longue période. Les autres causes de TMS liés au travail comprennent les traumatismes aigus (par exemple les fractures) résultant d'un accident.

**Figure 3** : Pourcentage de travailleurs signalant un problème de santé lié au travail, par type de problème, UE-27, 2013.



Source : (Safety and health at work EU-OSHA, 2019). Note : La population de travailleurs comprend toutes les personnes âgées de 15 à 64 ans qui travaillaient ou avaient travaillé au cours des 12 derniers mois.

Les TMS qui seront traités dans le reste de ce travail sont les TMS d'origine professionnelle qui ont un pouvoir de chronicisation pouvant induire une incapacité importante (Côté et al., 2008; Miranda et al., 2008). Ces pathologies sont généralement recueillies par questionnaires ou entretiens dans des études ou enquêtes spécifiques (Bodin et al., 2012; Fransson et al., 2012), ou par examen médical sur la base de critères diagnostics précis (van der Molen et al., 2021).

#### 1.4. Un lien étroit entre TMS, absentéisme et accidents du travail

Comme mentionné en 1.3, les TMS sont des affections fréquentes chez les travailleurs et sont souvent liées aux conditions de travail. Selon les données de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), les TMS représentent près de 60% des absences pour maladie dans les pays industrialisés (WHO, 2021b). De plus, les accidents du travail sont également une source importante de TMS, en particulier pour les travailleurs exposés à des risques physiques élevés. Les travailleurs souffrant de TMS peuvent rencontrer des difficultés à effectuer de façon efficace les tâches nécessaires pour leur travail allant jusqu'à être amené à prendre des congés maladies fréquents. Selon l'Institut national de recherche sur la sécurité et la santé au travail (INRS) et l'assurance maladie (ameli) (INRS, 2015; Assurance Maladie, ameli, 2020), les TMS sont responsables de près de 30% des jours d'arrêts de travail. Ces pathologies peuvent entraîner un absentéisme accru, ce qui peut notamment induire des coûts élevés pour l'employeur, les assurances, et les mutuelles.

Les travailleurs ayant subi un accident du travail ont un risque de souffrir de TMS deux fois plus élevé que les travailleurs n'ayant connu aucun accident (Abdalla et al., 2017). Les travailleurs souffrant de TMS peuvent éprouver des difficultés non seulement physiques, mais également mentales. Ces difficultés peuvent inclure des troubles de la concentration et de l'adaptation à l'environnement professionnel, rendant le travail pénible et stressant. Ces difficultés mentales peuvent également aggraver les douleurs physiques et rendre plus difficile la récupération suite aux TMS augmentant donc la probabilité d'absences répétées au travail.

Par ailleurs, les travailleurs temporaires qui sont assignés à des travaux ponctuels et généralement très physiques ont deux fois plus de risques d'accident du travail que les

travailleurs permanents, mais les raisons de ce risque plus élevé sont souvent mal connues. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces taux d'accidents du travail plus élevés : le fait qu'ils aient souvent moins d'expérience professionnelle que les travailleurs permanent et ont donc moins de connaissance des dangers probables sur le lieu de travail, ou encore des formations à la sécurité au travail trop rapides, inadéquates ou inefficaces (Virtanen et al., 2011). Malgré des taux significativement plus élevés d'accidents du travail, les travailleurs temporaires ont souvent des taux d'absence plus faibles, dus très probablement à la précarité de leur situation professionnelle (Benavides et al., 2006).

## 2. Les facteurs de risques des TMS

Les TMS sont des pathologies multifactorielles pouvant résulter de facteurs personnels, environnementaux, et professionnels (Roquelaure, 2018b; van Rijn et al., 2009).

### 2.1. Les facteurs personnels

Un consensus scientifique s'est établi sur le fait que certaines caractéristiques personnelles telles que l'âge, le terrain génétique ou encore les spécificités médicales des individus peuvent jouer un rôle dans la survenue des TMS. Pour mieux comprendre leurs mécanismes, il est possible de les conceptualiser en trois différents groupes : les caractéristiques individuelles, les comportements individuels et les vulnérabilités (Cole & Rivilis, 2004).

#### 2.1.1. Les caractéristiques individuelles

##### 2.1.1.1. Le genre

Même si des changements dans la division genrée du travail dans certaines entreprises commencent à être observés, une distinction entre métiers « féminins » et « masculins » reste présente dans une grande partie des secteurs et corps de métiers (Guillet & Santoro, 2021). Historiquement, la division du travail selon le genre a été très largement décrite depuis les années 1980 (Kergoat, 2018). A titre d'exemple, il a été longtemps considéré que les femmes auraient plus de dextérité et les hommes plus de force, justifiant d'une répartition des tâches particulièrement présente dans le secteur manufacturier et les services. Les femmes y sont généralement affectées à des emplois dans lesquels elles sont amenées à effectuer des mouvements répétitifs avec un rythme de travail rapide, impliquant peu de force (tâches « légères »), alors que les hommes sont souvent amenés à travailler en effectuant des tâches avec des exigences physiques considérées comme plus extrêmes, mais avec moins de répétitivité et généralement exécutées à une vitesse plus lente (tâches « lourdes ») (Messing et al., 1998). Il est d'ailleurs observé que là où les hommes ont été placés dans des postes traditionnellement féminins, notamment dans les abattoirs de volailles, on constate des symptômes similaires à ceux observés chez leurs collègues féminines (Mergler et al., 1987). En ce qui concerne l'effet du genre sur la survenue des TMS, il est donc intéressant de faire la



distinction entre ce qui est de l'ordre de l'assignation de tâches au travail résultant de représentations culturelles (tâches « féminines » ou « masculines ») et l'effet qui résulterait de caractéristiques physiologiques et biologiques (ex : grossesse et risque de développer un syndrome du canal carpien (SCC) plus élevé) (Oliveira et al., 2019).

#### 2.1.1.2. Les caractéristiques physiologiques, morphologiques et biologiques

Les caractéristiques physiologiques, morphologiques et biologiques peuvent avoir un impact sur la survenue des TMS. Par exemple, certaines conditions préexistantes telles que l'obésité, les troubles de l'équilibre et de la coordination, les troubles de l'alignement des articulations et les troubles de la posture peuvent augmenter le risque de TMS (Wearing et al., 2006; Bell et al., 2017). De même, certaines caractéristiques morphologiques comme la hauteur et le poids peuvent influencer la survenue de TMS, en particulier en ce qui concerne les affections de la colonne vertébrale comme les lombalgies (Burdorf et al., 1993). L'effet des différentes morphologies entre travailleurs (taille, musculature, poids) peut aussi avoir un impact dans la survenue des TMS, par exemple lorsque le matériel utilisé n'est pas adapté aux spécificités physiologiques des individus (ex : poste de travail trop grand/petit, outils uniquement pour droitiers, etc.) (Chung & Choi, 1997).

Enfin, certains facteurs biologiques tels les prédispositions génétiques peuvent également jouer un rôle dans la survenue de TMS. Par exemple, les femmes ont un risque accru de TMS, en particulier pendant la ménopause, et certains gènes ont été associés à un risque accru de TMS comme les gènes impliqués dans la régulation de l'inflammation (Oppermann, 2013; Szekanecz et al., 2021). D'autres caractéristiques biologiques telles que l'âge sont aussi à prendre en compte.

#### 2.1.1.3. L'âge

Le risque de développer des TMS augmente très largement avec l'âge. C'est ce que l'on constate dans plusieurs études mondiales et européennes (Brennan-Olsen et al., 2017; Safety and health at work EU-OSHA, 2019). Généralement, les études font état de valeurs plus élevées pour les travailleurs âgés de plus de 50 ans et pour ceux qui quittent le travail prématurément en raison de maladie et/ou invalidité (Peek-Asa et al., 2004; Taimela et al., 2007; Silverstein, 2008; Boot et al., 2017). La contribution de l'âge dans la survenue des TMS est difficile à

appréhender puisqu'à ce jour aucune étude n'est capable de distinguer si son effet est explicable par l'accumulation des expositions au cours du temps, l'évolution des expositions et de l'organisation au travail, la différence d'expérience et de compétence selon le début et la fin de carrière ou encore la diminution de la tolérance tissulaire qui se fragilise due au vieillissement. Des recherches ont par exemple mis en évidence que dans certaines entreprises, les travailleurs inexpérimentés et plus jeunes devaient investir plus d'efforts physiques pour la même tâche que leurs homologues plus âgés et expérimentés (Vézina & Chatigny, 1996). Ces différences dans l'intensité et la nature des tâches effectuées au travail selon l'âge expliquent un risque différentiel de développer des TMS. Il est par ailleurs probable que pour certains TMS c'est l'addition de plusieurs caractéristiques liées à l'âge qui contribuent à leurs survenues, par exemple la combinaison entre l'effet du vieillissement des tissus et l'accumulation d'expositions au cours du temps.

### 2.1.2. Les comportements individuels

Les facteurs de risques extrinsèques des TMS qui résultent de comportements individuels autres que des expositions professionnelles sont les loisirs (tels que le sport, la musique, les activités manuelles), ou certaines activités domestiques (ménage, couture, jardinage...) pouvant induire une mauvaise posture et des contraintes physiques favorisant l'apparition de douleurs. Il peut arriver que certains comportements individuels puissent à la fois être protecteurs et à risque dans la survenue de TMS, comme la pratique de sport pouvant être bénéfique lorsqu'elle est régulière et à intensité graduelle, mais à risque lorsque trop intense et/ou trop rapide. Les expositions chimiques telles que le tabagisme actif ou passif peuvent aussi augmenter le risque de TMS (Leino-Arjas, 1998).

### 2.1.3. Les vulnérabilités

Certains états physiopathologiques peuvent modifier l'équilibre de l'environnement chimique entourant les articulations, pouvant induire des TMS tels que la capsulite rétractile de l'épaule qui aboutit à une mobilité articulaire limitée chez les patients atteints de diabète sucré de type II (Balci et al., 1999). D'autres facteurs tel que l'obésité (Wearing et al., 2006), la grossesse (Kesikburun et al., 2018) ou encore le patrimoine génétique (Hakim et al., 2002) des individus peuvent jouer un rôle dans la vulnérabilité face aux TMS. Cependant les vulnérabilités qui sont le plus communément reconnues sont les TMS qui surviennent après une première fragilisation.

Une étude sur une cohorte de militaires a d'ailleurs montré que le risque de blessure était sept fois plus élevé chez les personnes ayant été préalablement blessées (G. A. Schneider et al., 2000). Les facteurs psychosociaux individuels qui ne sont pas associés au travail sont aussi à considérer dans l'étude des TMS, puisque plusieurs études ont montré que ces facteurs étaient concomitants avec la survenue de douleurs intenses et/ou une récupération plus difficile après un épisode douloureux (Medicine, 2001). Les indicateurs de vulnérabilité sociale jouent aussi un rôle dans la survenue des TMS, les populations ayant un revenu plus faible étant souvent les plus touchées : revenu du foyer bas, nombre d'enfants à charge, difficultés à l'accessibilité aux soins (Putrik et al., 2015), discrimination raciale (Carey & Garrett, 2003), etc.

## 2.2. Les facteurs professionnels

De nombreuses études ont identifié plusieurs facteurs de risques professionnels favorisant la survenue des TMS : les contraintes biomécaniques, les risques psychosociaux et les facteurs organisationnels (da Costa & Vieira, 2010; Roquelaure, 2018b; CDC, 2021).

### 2.2.1. Les facteurs biomécaniques au travail

En 1997, le *National Institute for Occupational Safety & Health* (NIOSH) a publié une revue détaillée recensant des études qui avaient pour but de mettre en évidence d'éventuelles relations causales entre les facteurs de risques liés au travail et la survenue des TMS (Bruce P., 1997; NIOSH | CDC, 2021). Les principaux facteurs de risques biomécaniques qui en sont ressortis comprennent les mouvements répétitifs, la force excessive, les postures inconfortables, les postures soutenues et les positions assises et debout prolongées (Bruce P., 1997).

La compréhension de la façon dont les facteurs de risques biomécaniques interagissent sur la survenue des TMS a évolué puisqu'il a longtemps été supposé que chaque facteur de risque était indépendant. L'effet d'une contrainte biomécanique sur les articulations, muscles et tendons peut en effet se faire de façon individuelle, comme c'est le cas pour l'exemple d'une personne qui est amenée dans le cadre de son travail à porter des charges lourdes régulièrement et qui développe un mal de dos au bout de plusieurs années. On peut aussi envisager la survenue d'une lombalgie à la suite d'un port ponctuel de charge lourde. Mais il arrive qu'une lombalgie se manifeste à la suite de l'effet concomitant de plusieurs facteurs biomécaniques comme l'utilisation d'outils vibrants dans tout le corps et une répétitivité de gestes sursollicitant les

lombaires. Une étude a d'ailleurs montré que la combinaison de gestes nécessitant d'y appliquer une force et la répétitivité de geste jouait un rôle important dans la survenue d'un large éventail de TMS : troubles lombaires, SCC, tendinite de la main/du poignet, inconfort du poignet, épicondylite latérale, tendinite de l'épaule, inconfort du genou (Gallagher & Heberger, 2013). L'intensité de la force et de la répétitivité de geste augmentent donc considérablement le risque de blessure articulaire. A ces facteurs peuvent aussi s'ajouter d'autres facteurs de risques comme la posture inconfortable, un travail physique intense, ou encore le fait d'effectuer des mouvements de flexions.

### 2.2.2. Les facteurs psychosociaux et organisationnels au travail

Dans la littérature, selon la discipline, les pays ou les organismes de recherches, il existe plusieurs conceptions des facteurs psychosociaux et organisationnels au travail. Pour commencer, il convient de revenir rapidement sur la notion de stress définie par Goens et Kuciejczyk (1981) : « toute action ou situation créant une demande physique ou psychologique sur une personne, qui met en cause son équilibre personnel ». Cette définition reflète bien l'interdépendance qui existe entre l'équilibre physique, psychologique et environnemental et donc le lien étroit qui existe entre l'organisation au travail, les facteurs biomécaniques et psychosociaux. Selon l'accord national interprofessionnel du 2 juillet 2008 en France, le stress est défini comme étant "un état de tension ressenti par un individu face à une situation perçue comme menaçante ou exigeante pour son bien-être psychique ou physique" (Légeron, 2008; Loriol, 2010). Le stress peut donc être causé par de nombreux facteurs, tels que des situations de travail difficiles ou exigeantes, des relations conflictuelles avec les collègues ou les supérieurs, des problèmes personnels ou familiaux, etc.

L'une des premières contributions qui a permis de faire le lien entre risque psychosociaux au travail et TMS est le modèle de « demande-contrôle » de Karasek, Theorell et Johnson qui ont montré qu'une faible latitude de décision et de lourdes exigences professionnelles étaient largement associées à une tension mentale, un fort stress et une insatisfaction au travail (Karasek, 1979). Ces recherches ont par la suite été étendues pour inclure un large éventail de facteurs psychosociaux et organisationnels au travail : l'importance du soutien sur le lieu de travail, les exigences cognitives, l'engagement au travail, le degré de liberté au travail, les exigences de dissimulation des émotions, les exigences émotionnelles, la rétroaction au travail, l'influence au travail, l'insécurité au travail, la satisfaction au travail, le sens du travail, les

possibilités de développement, la prévisibilité, la qualité du leadership, les exigences quantitatives, la clarté des rôles, les conflits de rôles, le sens de la communauté, les exigences sensorielles, les relations sociales et le soutien social (Morken et al., 2003; Pejtersen et al., 2010).

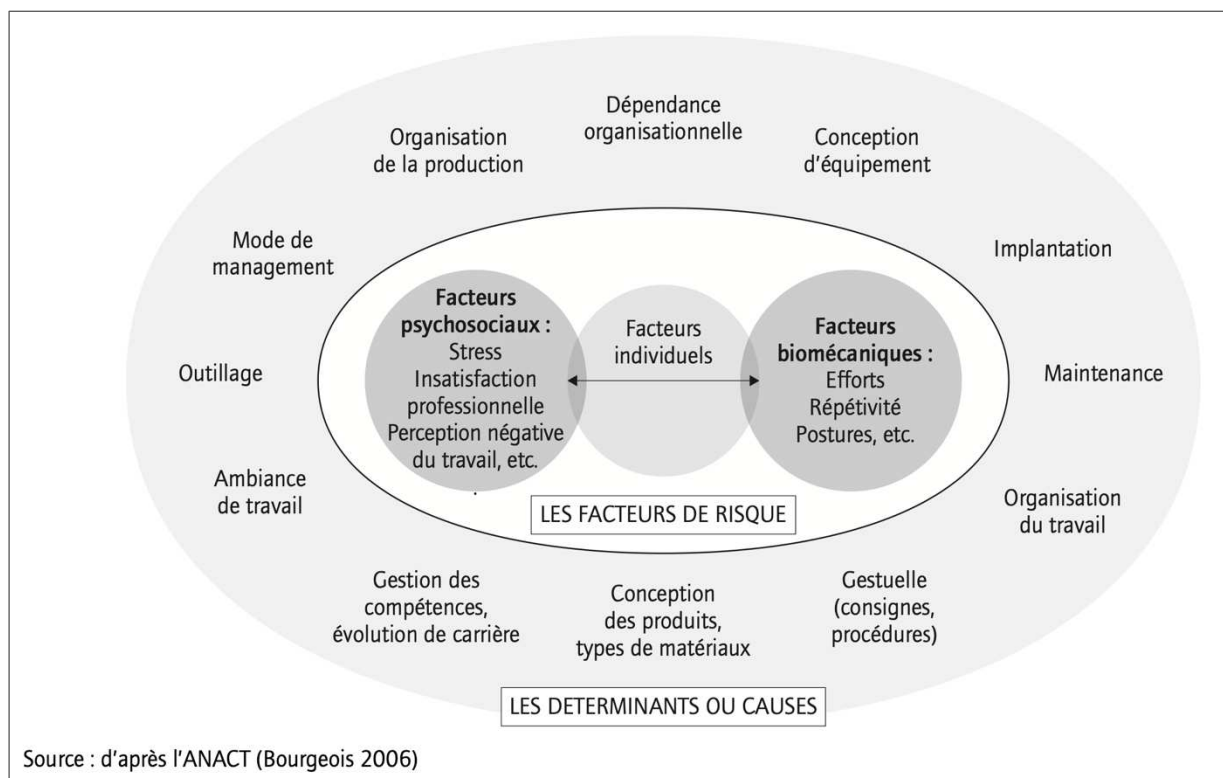
Le modèle de Siegrist est un modèle épidémiologique qui a été par la suite développé pour expliquer les effets de différentes dimensions du stress au travail sur la santé mentale et physique des individus (Siegrist & Li, 2016). Selon ce modèle, il existe deux types de stress au travail : le stress lié à l'effort et le stress lié à l'imprévisibilité. Le stress lié à l'effort se caractérise par un déséquilibre entre l'investissement personnel et les ressources disponibles pour accomplir une tâche, tandis que le stress lié à l'imprévisibilité se caractérise par un manque de contrôle sur le travail et une incertitude quant aux conséquences des actions. Le modèle de Siegrist a été largement utilisé pour expliquer les effets du stress au travail sur la santé mentale et physique, notamment sur les TMS. Il a d'ailleurs également été montré que ce modèle se complète bien avec le modèle de Karasek, qui met en avant l'importance de l'autonomie et de la participation au travail dans la relation entre les risques psychosociaux au travail et les TMS. En effet, selon ce modèle, l'exposition à des risques psychosociaux élevés est associée à un risque accru de TMS, mais seulement lorsque l'autonomie et la participation au travail sont faibles.

Ces facteurs psychosociaux peuvent être à l'origine de stress se manifestant par des répercussions physiologiques par l'activation des muscles, qui induisent à leur tour une gêne puis une réduction de l'efficacité des gestes effectués dans le cadre du travail. Le stress est par ailleurs un activateur des mécanismes inflammatoires et de la douleur, ce qui participe à ralentir les réparations tissulaires et augmente le risque de chronicité des douleurs (Roquelaure, 2018b). Les situations de « tension au travail » induites par une faible autonomie, le manque de soutien/de reconnaissance, ou une mauvaise entente avec les collègues et/ou les supérieurs hiérarchiques, peuvent augmenter le risque de TMS (Deeney & O'Sullivan, 2009; Caroly & Landry, 2016). L'organisation du travail et les prises décisionnelles managériales jouent donc un rôle important dans la survenue des TMS. L'effet des facteurs organisationnels sur les TMS se fait sentir en cascade puisque selon l'organisation de l'entreprise, les conditions de travail et donc les caractéristiques biomécaniques, psychosociales et environnementales peuvent être plus ou moins à risque (**Figure 4**) (Bao et al., 2016; Roquelaure, 2018). A titre d'exemple, le

caractère répétitif et redondant d'une tâche, sans la possibilité de pause, dans un contexte où la durée du temps de travail est longue peuvent considérablement augmenter le risque de TMS. Ici c'est bien l'organisation du travail qui augmente le risque d'être exposé à des facteurs psychosociaux et biomécaniques et donc la probabilité de développer un TMS (INRS, 2015).

Il a par ailleurs été suggéré que le travail cadencé, c'est-à-dire le travail qui implique de travailler à un rythme imposé par l'employeur, pourrait augmenter le risque de TMS. Le travail cadencé peut entraîner une augmentation de la pression temporelle et de la charge de travail, ce qui peut provoquer un stress supplémentaire et une fatigue accrue. Ces facteurs de stress peuvent être des facteurs de risque pour les TMS, en particulier dans les situations où ils sont combinés à d'autres facteurs de risque tels que la répétition des mouvements ou des postures non ergonomiques. Il est important de noter que la recherche sur le lien entre le travail cadencé et les TMS est limitée et que d'autres études sont nécessaires pour établir de manière concluante si le travail cadencé augmente réellement le risque de TMS (BAO et al., 2020). Le récapitulatif de TMS fréquents selon leur localisation, facteurs personnels, biomécaniques, psychosociaux et organisationnels est présent dans le **tableau 1**.

**Figure 4** : Modèle organisationnel des situations génératrices de TMS



Note : graphique issu du livre de Yves Roquelaure sur les « Troubles musculosquelettiques et facteurs psychosociaux au travail » publié en 2018 (Roquelaure, 2018b).

**Tableau 1** : Récapitulatif de TMS fréquents selon leur localisation, facteurs personnels, biomécaniques, psychosociaux et organisationnels

Localisation	Exemples d'affections	Facteurs personnels	Facteurs biomécaniques	Facteurs psychosociaux et organisationnels	Ex de secteurs touchés
Cou. (Santé Publique France, 2012).	<b>Cervicalgies</b> : douleurs cervicales pouvant toucher les tendons, les ligaments, les muscles ou les disques vertébraux d'origine traumatique ou non	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Age.</li> <li>• Antécédent d'arthroses ou de TMS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail en abduction du bras maintenue ou répétée.</li> <li>• Flexion du cou.</li> </ul>	<p>Chez les hommes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rythme de travail imposé par une demande extérieure.</li> <li>• Forte demande psychologique.</li> </ul> <p>Chez les femmes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rythme de travail imposé par le travail d'un ou plusieurs collègues.</li> <li>• Tête penchée en avant (<math>\geq 4h/j</math>).</li> <li>• Faible soutien social hiérarchique.</li> </ul> <p>Indépendamment du sexe :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abduction du bras maintenue ou répétée (<math>\geq 2h/j</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industries.</li> <li>• Agro-alimentaire.</li> <li>• Construction.</li> <li>• Agriculture.</li> </ul>
Dos. (Leino-Arjas, 1998; Alghadir et al., 2017; Buruck et al., 2019)	<b>Lombalgies</b> : douleurs dans le bas du dos, douleurs piquante et brulante qui se déplace du bas du dos vers les cuisses, parfois dans le bas des jambes/pieds accompagné d'engourdissement et picotements (sciatique), spasmes musculaires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Age.</li> <li>• Antécédent de TMS.</li> <li>• Antécédents familiaux</li> <li>• Grossesse</li> <li>• Corpulence.</li> <li>• Tabagisme</li> <li>• Sédentarité</li> <li>• Alimentation</li> <li>• Déshydratation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutentions manuelles.</li> <li>• Vibrations du corps entier.</li> <li>• Travail physique dur.</li> <li>• Postures contraignantes répétées et chutes.</li> <li>• Manipulation de charges lourdes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insatisfaction au travail (monotonie, contraintes de rythme).</li> <li>• Fatigue</li> <li>• Mauvaises relations au travail.</li> <li>• Stress</li> </ul>	<p>Toutes les professions mais plus important chez les salariés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De manutention,</li> <li>• Conducteurs d'engins,</li> <li>• Travailleurs de force ou exposés à des postures contraignantes</li> </ul>
Épaule. (Pujol, 1993; B. Fouquet et al., n.d.; Roquelaure et al., 2011; Wong et al., 2020)	<b>Tendinite de la coiffe des rotateurs</b> : inflammation chronique d'un tendon pouvant être irrité dans sa partie superficielle, profonde, ou son épaisseur provoquant des douleurs d'épaules.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Age.</li> <li>• Corpulence.</li> <li>• Diabète</li> <li>• Vascularisation avec une zone hypo-vascularisée</li> <li>• Antécédents familiaux</li> <li>• Troubles métaboliques (dysthyroïdie, hyperuricémie, hypercholestérolémie)</li> <li>• Déshydratation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extension du ou des bras en arrière</li> <li>• Bras éloignés du corps</li> <li>• Manipulation de charges lourdes.</li> <li>• Répétitivité des gestes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charge de travail trop élevée</li> <li>• Stress</li> <li>• Impossibilité de pauses</li> <li>• Mauvaise qualité de sommeil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secteurs de la confection et de la transformation de produits carnés.</li> <li>• Les soudeur·euses</li> <li>• Les différents métiers du bâtiment.</li> <li>• Les coiffeur·euses.</li> <li>• Les caissier·ères de supermarché.</li> </ul>

<p>Poignets, mains, doigts. (DE KROM et al., 1990; HA et al., 2010; Tcaciuc, 2010)</p>	<p><b>Syndrome du canal carpien</b> : compression du nerf médian au niveau du canal carpien provoquant des fourmillements ou picotements dans la main, elle peut aussi causer une perte de force en position prolongée de préhension et des douleurs allant jusqu'à irradier le poignet et/ou avant-bras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Age.</li> <li>• Diabète</li> <li>• Corpulence</li> <li>• Maladie de la thyroïde</li> <li>• Grossesse</li> <li>• Antécédents de TMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tâche contraignante pour le poignet</li> <li>• Mauvaise posture du poignet</li> <li>• Travaux demandant une force statique prolongée,</li> <li>• Outils vibrants</li> <li>• Mouvements de flexion-extension, de torsion du poignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rythme de travail imposé par une demande extérieure.</li> <li>• Impossibilité de pauses</li> <li>• Stress</li> <li>• Le froid</li> <li>• Tâches répétitives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agriculteur·ice·s</li> <li>• Secteurs industriels (agroalimentaire, métallurgie, industrie automobile, fabrication de matériel informatique, industrie du cuir et de la chaussure, fabrication d'équipements de radio, télévision)</li> <li>• Télécommunications</li> <li>• Transports</li> <li>• Activités de service</li> </ul>
<p>Genou. (Santé Publique France, 2010)</p>	<p><b>Hygroma</b> : est une inflammation douloureuse d'une bourse séreuse (cavité fermée permettant de glisser les différents éléments de l'articulation), induisant une tuméfaction ou gonflement au niveau de l'articulation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Age.</li> <li>• Diabète</li> <li>• Corpulence</li> <li>• Antécédents de TMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tâches répétitives et fréquente</li> <li>• Efforts importants, prolongés, ou excessifs</li> <li>• Appuis prolongés sur les articulations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rythme de travail imposé par une demande extérieure.</li> <li>• Stress</li> <li>• Le froid</li> <li>• Posture articulaire inconfortable</li> <li>• Tâches répétitives</li> <li>• Fréquence de l'agenouillement élevé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agro-alimentaires</li> <li>• Métiers de la construction</li> <li>• Secteurs industriels nécessitant de rester debout et/ou s'agenouiller régulièrement</li> </ul>



## 2.3. La contribution du travail au fardeau des TMS

### 2.3.1. Fractions de risque de TMS attribuables au travail

#### 2.3.1.1. Rappel de définition de la fraction de risque attribuable

Il est important de noter que, même si certains facteurs peuvent être associés à un risque accru de TMS, il est crucial de faire la distinction entre une association et une causalité avérée. Pour évaluer l'impact réel d'une intervention visant à réduire l'incidence des TMS, il est donc important de mesurer le pourcentage de nouveaux cas de ces troubles qui peuvent être attribués à un facteur de risque donné. En épidémiologie, cette mesure est connue sous le nom de "pourcentage de nouveaux cas en excès attribuable" au facteur de risque en question (Dab, 2020). La fraction de risque attribuable (FA) estime donc la proportion de cas qui aurait pu être évitée si l'exposition à l'agent d'intérêt n'avait pas existé. Cette fraction est fréquemment calculée à partir de la formule :




$$FA = \frac{PE(RR - 1)}{1 + PE(RR - 1)}$$




Où PE représente la prévalence d'exposition au facteur de risque, RR le risque relatif associant le facteur de risque à la pathologie d'intérêt. La FA reflète donc à la fois la force d'association entre le facteur de risque et son effet sur la santé et la prévalence de l'exposition à ce facteur dans la population (Northridge, 1995).






#### 2.3.1.2. Exemples de fractions de risque de TMS attribuables au travail






Le **tableau 2** présente une synthèse de plusieurs fractions attribuables selon les différents facteurs de risques professionnels et/ou secteurs d'activités correspondants par TMS. Ces fractions attribuables font état de l'impact des facteurs professionnels et permettent d'avoir une idée de la proportion de cas de TMS qui pourrait être évitable à la suite d'intervention ciblées selon les facteurs de risques et secteurs d'activités d'intérêts. Les proportions de TMS attribuables au travail selon leur localisation peuvent varier entre 6 et 90%, les lombalgies étant les plus largement représentées notamment chez certains travailleurs très exposés dans les secteurs primaires et secondaires.

**Tableau 2 :** Synthèse bibliographique non exhaustive recensant des exemples de fractions attribuables (FA) connues par facteurs de risques et/ou secteurs d'activités.

Références	Pays	Population étudiée	Localisation du TMS	Facteurs de risques professionnels			Secteurs d'activités à risques élevés		Accès à la source
				Types	Risque et [IC 95%]	FA (%)	Types	FA (%)	
(Nambiema et al., 2020)	France	3710 travailleurs	Membres supérieurs	Effort physique perçu élevé	-	30	Travailleurs de la cohorte Cosali (surveillance sentinelle de médecins)	-	
(N. Fouquet et al., 2020)		3710 travailleurs	SCC	Le secteur d'activité est ici utilisé comme proxy des expositions professionnelles à risque (biomécaniques, organisationnelles ou psychosociales) qui y sont liées.	-	-	<b>Chez les femmes :</b> Agriculture, sylviculture et pêche Industrie manufacturière Santé humaine et action sociale	48 29 21	
			Hernie discale (lombalgies)				<b>Chez les hommes :</b> Construction Transports et entreposage Hébergement et restauration	38 34 57	
(Sultan-Taïeb & Niedhammer, 2012)	Travailleurs issus de l'enquête Sumer	Toutes localisations confondues	<i>Job strain</i> défini par Karasek = a tension au travail ne dispose pas de marges de manœuvre individuelles nécessaires pour	-	27	Ensemble des salariés du régime général, du régime agricole, des hôpitaux publics, d'EDF-GDF, de La	-		

				répondre aux exigences du travail telles qu'il les ressent.			Poste, de la SNCF, et d'Air France.		
(HA et al., 2010)		3710 travailleurs	SCC opérés	Mouvements répétitifs du membre supérieur. Mouvements de torsion du poignet. Utilisation de la pince pouce-index. Utilisation d'un outil vibrant, d'un clavier informatique.	-	-	Ouvrières non qualifiées de l'industrie Ouvrières agricoles Personnels des services directs Employées du commerce Employées civiles et agents de service Ouvrière de type qualifiées artisanal Ouvriers non qualifiés Ouvriers de type qualifié artisanal	11,4 4,3 3,6 3,4 3,3 1,5 10,5 13,3	
(Alcouffé et al., 1999)		7,010 travailleurs (hommes et femmes)	Lombalgie	Port de charge lourde (chaque jour 1,4 > 10kg) Vibration globale du corps 1,3 (> 4 h/jour vs jamais) Postures contraignantes 2.0 (oui/non)	RR = 1.4 [1.2-1.6] RR = 1.3 [1.0-1.6] RR = 2.0 [1.7-2.2]	-	-	-	
(Sultan-Taïeb et al., 2011)	Suède	420 travailleurs	Lombalgie	<i>Job strain</i> définit par Karasek = tension au travail ; le travailleur ne dispose pas de marges de manœuvre individuelles nécessaires pour répondre aux exigences du travail telles qu'il les ressent.	-	14,8	Population générale	-	
	Pays-Bas	407 hommes et femmes	Cou et membres supérieurs			19,9	Étude en population		
	Suède et Pays-Bas		Cou et épaules			13,1	Utilisateurs d'ordinateurs et infirmiers		
	Suède	4140 travailleurs	Épaules			6,1	Population générale, utilisateurs d'ordinateurs et infirmiers		
	Pays-Bas et USA	337 hommes et femmes	Bras et mains			6,1	Utilisateurs d'ordinateurs et ouvriers industriels de 9 entreprises		
	Pays-Bas	787 hommes et femmes	Coude et poignets			3,4	34 entreprises de secteurs différents (secteurs spécifiques non mentionnés)		

	USA	1449 hommes	Blessure à la colonne vertébrale			6,5	Conducteurs de véhicules de transport en commun employés par le chemin de fer municipal de San Francisco		
(Roquelaure, 2018b)	Pays européens d'après l'Agence de Bilbao (EU-OSHA 2008)	-	Lombalgies	Port manuel de charges Flexions/torsions du tronc Charge de travail physique élevée Posture de travail statique Vibrations corps-entier Forte demande psychologique Monotonie de la tâche Faible soutien social Stress perçu élevé	-	11-66 19-57 31-58 14-32 41 21-48 23	-	-	
			TMS des membres supérieurs	Manutention manuelle de charges Répétitivité élevée Force élevée Répétitivité et force élevée Répétitivité et froid Vibration		11-66 53-71 78 88-93 89 44-95			
(Burdorf et al., 1998)	Pays-Bas	161 hommes	Lombalgies	Absence de soutien social	RR = 3.8 [1.6-9.1]	47	Soudeurs en métallurgie		
(Burdorf et al., 1993)		94 grutiers et 86 employés de bureau (hommes)	Lombalgies	Posture sédentaire statique	RR = 3.3 [1.5-7.1]	32	Grutiers et employés d'entretien	-	
(Burdorf et al., 1991)		114 bétonneurs et 52 préposés à l'entretien (hommes)	Lombalgies	Se plie et se tord Vibration de tout le corps	RR = 2.8 [1.3-6.0] RR = 3.1 [1.3-7.5]	30 -	Travailleurs du bâtiment	-	
(Bongers et al., 1990)		133 pilotes d'hélicoptère et 228 sous-officiers (hommes)	Lombalgies	Vibration de tout le corps	9.0 [4.9-16.4]	80	Pilotes d'hélicoptères et sous-officiers	-	

(Smedley et al., 1997)	Royaume-Unis	838 femmes	Lombalgies	Soulever un patient (> 1 patient vs 0) Transférer des patients (>5 patients vs moins)	RR = 1.4 [1.0-1.9] RR = 1.6 [1.1-2.3]	19 18	Infirmières		
(B.A. Silverstein et al., 1986)	USA	574 hommes	Mains/poignet (SCC)	Force élevée /faible répétitivité Force élevée/ répétitivité élevée Force élevée/répétitivité élevée	OR=5.2 [1.1-25.0] OR=3.3 [0.7-15.9] OR=29.1 [5.9-142.7]	78 78 93	Ouvriers industriels	-	
(J. Lee et al., 2022)	Corée du sud	327 hommes et femmes	Cou	Risques ergonomiques Exposition au froid Maladies mentales	-	35,6 26,8 21,4	Pêche	-	
			Épaules	Risques ergonomiques Exposition au froid Maladies mentales		24,1 25,6 14,9			
			Mains	Risques ergonomiques Exposition au froid Maladies mentales		42,2 26,1 15,0			
			Dos	Risques ergonomiques Exposition au froid Maladies mentales		33,7 9,1			
			Genou	Risques ergonomiques Exposition au froid Maladies mentales		15,9 9,2			
(Aroui et al., 2016)	Tunisie	602 hommes et femmes	Mains et poignets SCC Kyste synovial du poignet	Mouvements répétitifs	-	85 85 87	Industries textiles	-	
(Schierhout et al., 1995)	South African	401 travailleurs	Cou et épaule Poignet et mains	Mouvements répétitifs Postures dynamiques du poignet	OR=3.91[1.11-13.7] OR=10.2 [1.39-75.6]	-	Secteur manufacturier	-	

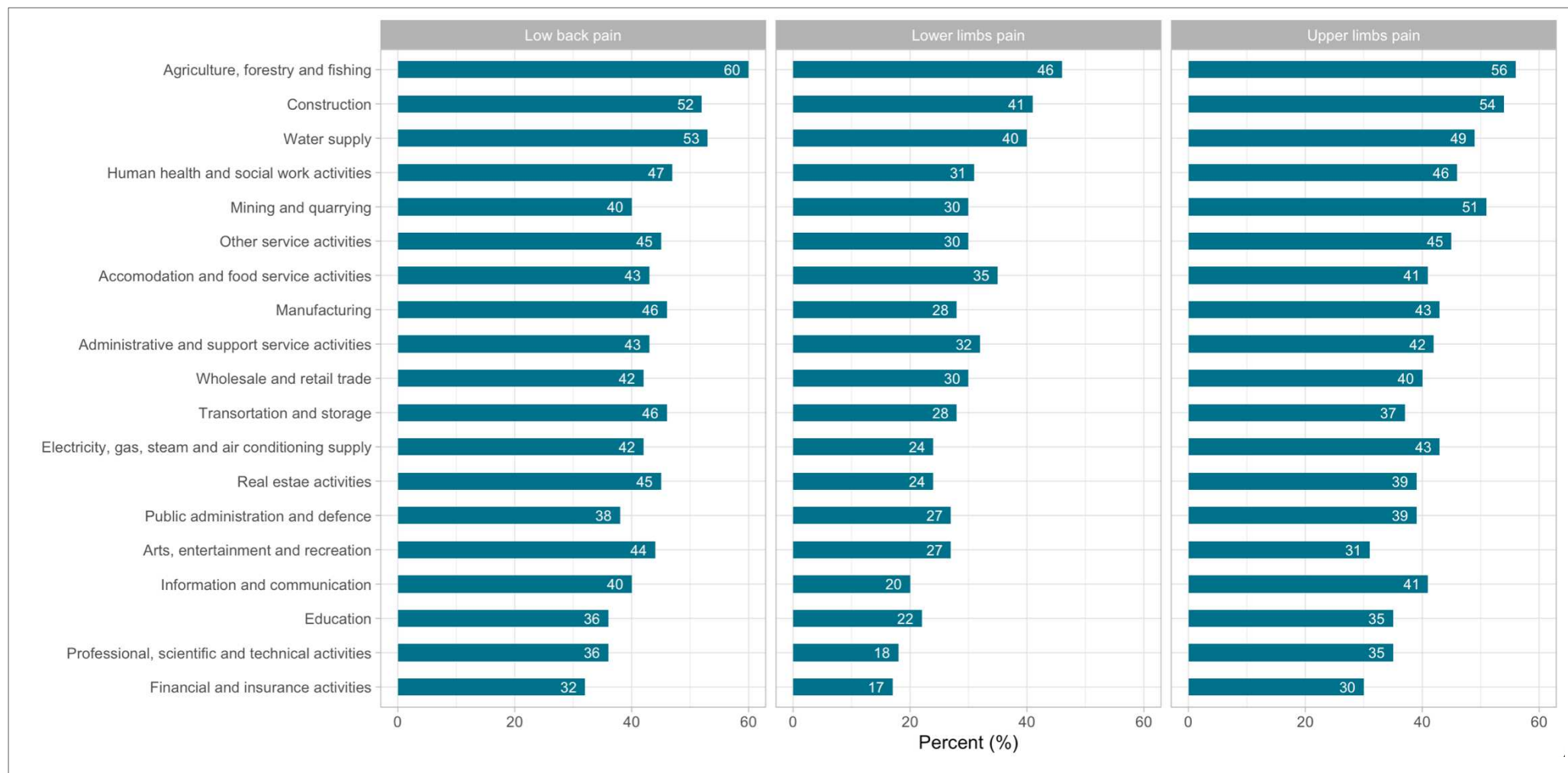
**Interprétation du premier article :** dans l'article Nambiema et al., 2020, sur des données françaises, la FA au fait de fournir un effort physique perçu élevé chez les travailleurs (recrutés dans la cohorte Cosali) dans la survenue de TMS au niveau des membres supérieurs est de 30%.

Même si ce tableau ne fait pas l'inventaire exhaustif des différents risques attribuables aux expositions professionnels et secteurs d'activités dans la survenue des TMS, très peu d'articles sur le sujet ont été publiés dans les pays du Sud. La majorité des contributions recensées sont principalement localisées dans les pays du Nord, les Etats-Unis et l'Asie (National Research Council (US) and Institute of Medicine (US) Panel on Musculoskeletal Disorders and the Workplace, 2001b).

### 2.3.2. Les secteurs concernés

Les TMS sont des pathologies présentes dans tous les secteurs d'activités, comme on peut le voir dans la **figure 5**. Ils sont particulièrement présents dans la construction, l'agriculture, la sylviculture, la pêche, les métiers de la santé, dans le transport, et chez les ouvriers. Les TMS sont en revanche moins susceptibles de survenir dans les métiers de la bureautique, de l'éducation, et des arts.

**Figure 5 :** Pourcentage de travailleurs reportant des TMS dans le bas du dos, les membres supérieurs et inférieurs dans les 12 derniers mois par secteur par secteurs d'activités, EU-28, 2015

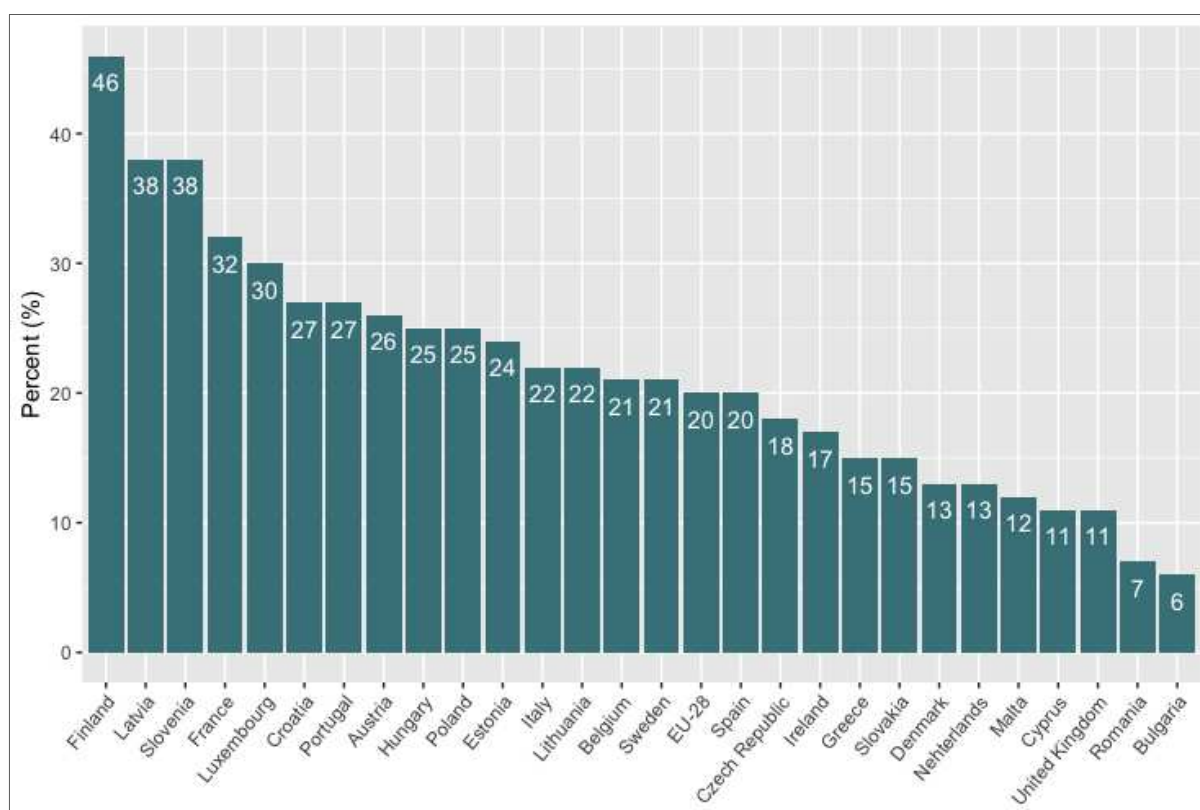


Source : inspirée de (Safety and health at work EU-OSHA, 2019)

### 2.3.3. La prévalence des TMS parmi les travailleurs

D'après les données issues des enquêtes européennes sur les conditions de travail (EWCS) (Eurofound, 2021) de 2010 à 2015, la prévalence des TMS variait considérablement entre les pays européens avec des augmentations de prévalence pour la majorité des pays recensés (Eurostat, 2021). Comme pour les prévalences globales des TMS, la prévalence des TMS chroniques (durée de 6 mois ou plus cumulée) varie également considérablement d'un pays à l'autre. Selon l'enquête européenne par interview sur la santé (EHIS) d'Eurostat, qui étudie deux types de TMS, les malformations chroniques du dos et malformations chroniques du cou, le taux de prévalence autodéclaré en 2014 variait de 6 % en Bulgarie à 46 % en Finlande (**Figure 6**) (Eurostat, 2021).

**Figure 6 :** Pourcentage de travailleurs déclarant souffrir de troubles chroniques du dos et/ou du cou par pays, 2014.



Note : Le chiffre inclut tous les États membres de l'UE-28, à l'exception de l'Allemagne. Les résultats sont basés sur les individus qui exercent un emploi ou une profession, y compris le travail non rémunéré pour une entreprise ou une exploitation familiale, un apprentissage ou un stage rémunéré, etc.

Tous les secteurs et catégories professionnelles sont touchés par ces pathologies, et leur propension à devenir chroniques peut induire de fortes conséquences négatives d'un point de vue social et économique. Plus de la moitié des travailleurs atteints de TMS en 2014 ont déclaré



devoir s'absenter de leur travail sur une période de 12 mois pour cause de douleurs chroniques dues à des TMS (Safety and health at work EU-OSHA, 2019). Les absences de longue durée et/ou diminutions de productivité au travail pour cause d'incapacité sont particulièrement préoccupantes puisqu'elles peuvent être la cause de difficultés d'employabilité des salariés sur le long terme. Par ailleurs, le nombre de retraites anticipées dues à une invalidité est bien plus élevé chez les personnes atteintes de TMS. Dans une étude publiée en 2015, le coût total de la perte de productivité attribuable aux TMS chez les travailleurs dans l'UE a d'ailleurs été estimé à 2% du produit intérieur brut (PIB) (Bevan, 2015). L'impact des TMS ne se répercute pas seulement sur la qualité de vie des personnes concernées ou sur le coût que cela génère aux entreprises mais ils entraînent aussi des frais supplémentaires pour les médicaments, les traitements, la rééducation, l'indemnisation si le TMS est d'origine professionnelle, les pensions d'invalidité et de préretraite, etc.

En ce sens, une bonne prise en charge et prévention des TMS est importante à considérer non seulement en raison de son fardeau sur la santé des populations mais aussi de son poids socio-économique.

### 3. Quelques aspects non élucidés de l'épidémiologie des TMS

Plusieurs aspects non élucidés de l'épidémiologie des TMS sont à prendre en compte dans l'étude de ces pathologies. Pour commencer, les causes exactes de la survenue de certaines TMS sont encore méconnues (Woolf et al., 2010; Wang et al., 2017). Par ailleurs, la diversité des TMS tant dans leurs localisations dans le corps que dans leur nature (douleurs aux articulation, musculaire, et/ou tendons), fait que les facteurs de risques pour ces pathologies varient considérablement selon le type de population étudiée (Cantley et al., 2014).

Depuis ces 30 dernières années, un grand effort de recherche sur l'étude de facteurs de risques pour ces pathologies a été fait (voir **tableau 1** et **2**). Il existe entre autre, un quasi-consensus international selon lequel les TMS sont causalement liés aux facteurs de stress ergonomiques professionnels, tel que les mouvements répétitifs et stéréotypés, les efforts énergiques, les postures non neutres, les vibrations et les combinaisons de ces expositions (Punnett & Wegman, 2004). Malgré cela, plusieurs études font l'état des lieux de lacunes de recherche sur l'impact des TMS notamment sur les différentes populations de travailleurs, ou encore sur la relation entre le temps et les TMS (B. A. Silverstein et al., 1997; Gerr, 2008).

La relation entre le temps et les TMS est particulièrement complexe puisqu'elle peut notamment varier selon le type de travail, et les caractéristiques individuelles des travailleurs. Par exemple, certains types de travaux, comme ceux impliquant des mouvements répétitifs ou une sollicitation excessive, peuvent augmenter le risque de survenue des TMS de manière significative. À l'inverse, une exposition professionnelle plus modérée peut ne pas avoir les mêmes conséquences sur la survenue de ces pathologies. Il est important de noter que ces TMS peuvent être causés par de nombreux facteurs qui peuvent évoluer au cours du temps, ce qui rend difficile l'établissement d'une période de temps spécifique au-delà de laquelle ils sont plus susceptibles de se développer. En outre, il y a des incertitudes quant à la durée de latence des TMS, c'est-à-dire le délai entre l'exposition à un ou plusieurs risques et l'apparition de la maladie (Baker & Landrigan, 1990; Nicoletti & Battevi, 2008).

La survenue des TMS est un phénomène complexe qui peut varier considérablement d'un individu à l'autre. Il est d'ailleurs connu que ces troubles peuvent se produire de manière cyclique, avec des épisodes de guérison et des récurrences. Cependant, il n'y a pas encore suffisamment de recherches à l'échelle populationnelle qui ont étudié le phasage des séquences d'épisodes de guérison et de récurrences dans la survenue des TMS. En d'autre terme, les données sur l'historique naturelle des TMS sont peu répertoriées (Dick et al., 2020; Casiano et al., 2022).

Pour bien comprendre la survenue de ces pathologies il est donc nécessaire en plus d'une bonne connaissance des facteurs de risques de prendre en compte le temps de travail total et les conditions de travail des travailleurs, l'historique professionnel des individus. Cela peut inclure le nombre d'heures travaillées par jour, la durée de l'exposition à des risques spécifiques (comme l'utilisation d'outils ou de machines), et le nombre de jours travaillés par semaine.

## 4. Évolutions attendues du fait de la transformation du travail

La transformation du travail, avec l'avènement de nouvelles technologies et de la digitalisation, a entraîné de profondes évolutions dans les expositions professionnelles. Cependant, ces évolutions ne doivent pas être considérées de manière isolée, mais plutôt comme l'héritage de l'industrialisation et de ses impacts sur la santé au travail. Pour bien comprendre les évolutions du travail et leurs impacts dans la survenue des TMS, il est donc nécessaire de revenir rapidement sur l'évolution historique des modèles organisationnels du travail depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle.

### 4.1. Contexte historique

#### 4.1.1. Organisation taylorienne du travail

Dans une logique de rendement et d'optimisation du capital, Frederick Winslow Taylor publie en 1911 *The Principles of Scientific Management* (Winslow Taylor, 1911), qui a pour visée de proposer une nouvelle organisation du travail. Au moment de la publication de cet ouvrage, les gestionnaires cherchaient à augmenter la productivité des entreprises en ciblant les travailleurs jugés pas assez efficaces et performants dans leurs tâches. Le taylorisme, ou organisation scientifique du travail taylorien, considère que « *Le remède à cette inefficacité réside dans une gestion systématique, plutôt que dans la recherche d'un homme inhabituel ou extraordinaire* ». Cette organisation du travail vise à rationaliser de façon extrême les tâches en mettant en place une division verticale du travail en différents groupes : les personnes chargées de l'exécution des tâches et les personnes qui définissent les manières les plus efficaces de réaliser les opérations. Cela passe par une décomposition et simplification des tâches, de manière à les automatiser et limiter au maximum les temps dits « morts ».

Les gains de productivité entraînés par cette nouvelle organisation du travail sont indéniables, amenant les entreprises concurrentes à reproduire cette configuration en leur sein. Le modèle

taylorien prend de plus en plus d'ampleur mondialement et finit par devenir dominant dans tous les secteurs d'activités qui le permettent, entraînant une forte croissance économique.

#### 4.1.2. Organisation fordienne du travail

Le modèle taylorien est notamment adapté aux usines automobiles Ford, à Dearborne (Michigan) en 1913, dans les chaînes de montage (Flonneau, 2008). Dans les usines fordiennees, les chaînes de montages évitent aux ouvriers de se déplacer pour optimiser leur rendement, favorisant un travail à la chaîne en adoptant des gestes spécifiques et automatisés au rythme de la machine (Blancheton, 2020). Pour pérenniser son modèle, Henry Ford instaure par ailleurs le salaire à un dollar la journée, afin d'augmenter le niveau de vie des ouvriers et en faire de potentiels consommateurs (Fridenson, 2006).

#### 4.1.3. Crise du travail de 1960

C'est dans les années 60 qu'émerge une crise du travail induite à la fois par l'accélération des cadences dans l'exécution des tâches et l'arrivée de nouvelles générations n'y trouvant pas de sens. De plus en plus de départs volontaires et d'absentéisme massif sont observés, dans un contexte où le climat social au travail est souvent conflictuel. Avec l'hyperproduction des produits fabriqués en masse, les ménages commencent à vouloir se différencier par l'utilisation de produits originaux, ce qui amène une diversification de la demande. Pour répondre à cette crise, certaines entreprises décident « d'enrichir » le contenu des tâches en rendant les équipes qui les effectuent semi-autonomes. C'est le cas des entreprises Volvo (de Bonnafos, 1984) qui constatent une amélioration du climat social ambiant chez leurs employés, mais pas d'augmentation de la productivité par rapport à ce qui était attendu.

#### 4.1.4. Organisation toyotiste du travail

Au Japon, l'entreprise Toyota ne peut pas appliquer les méthodes taylorienne et fordiennees des pays occidentaux. A la fin des années 40, le pays subit de plein fouet les conséquences économiques de la guerre. Pour redresser leur économie et s'adapter au pouvoir d'achat très limité de la population, les coûts de productions des voitures doivent être revus à la baisse. Alors que les Etats-Unis misent sur une hyperproduction dans le but de faire des économies d'échelles, la stratégie qui prévaut au Japon consiste à abaisser les coûts de production tout en produisant des séries courtes compatibles à la taille du marché. Le système de production

proposé par Taiichi Ohno est une alternative au taylorisme et au fordisme : son principe repose sur le fait qu'il faille « fabriquer rapidement, éliminer les coûts inutiles et vendre les voitures dès leur sortie d'usine pour éviter les frais de stockage » (Shimizu, 1999). Les principes du toyotisme reposent à la fois sur l'optimisation continue des processus de production par le biais de l'ingénierie et une organisation de travail bien spécifique : la production se fait selon les commandes des acheteurs ce qui évite l'accumulation éventuelle de stock. Les pièces qui ne sont pas produites dans l'usine sont commandées aux fournisseurs une fois que les voitures sont en cours de production, et livrées très rapidement en fin de chaîne ce qui permet par ailleurs de délivrer les produits plus rapidement. Ce modèle reprend donc la polyvalence et l'autonomisation des travailleurs, dans une optique d'efficacité de production en proposant des tâches plus riches et plus valorisantes pour leurs employés.

#### 4.1.5. L'intensification du travail

Plusieurs enquêtes sur les conditions de travail montrent que l'adoption de nouvelles organisations peut aboutir à une intensification significative du travail et une diminution de l'épanouissement des salariés (*European Working Conditions Surveys (EWCS), 1990; AWCS, 2015; Niedhammer et al., 2017*). L'utilisation de machines pour l'aide à l'automatisation des tâches devenant de ce fait moins répétitives que par le passé, et limitant certaines tâches physiques difficiles comme le port de charges lourdes a joué un rôle dans la diminution de l'effet de contraintes biomécaniques dans le domaine de l'industrie. En revanche, on voit apparaître des contraintes qui touchent un plus large panel de travailleurs (ouvrier, managers, ingénieurs, etc.) et qui résultent d'un besoin de rapidité de production due à la sollicitation de la clientèle. Dans les usines automobiles comme celles de Toyota, ces sollicitations se caractérisent par la variété de production avec une contrainte de délais, de qualité de prestation et de suivi de services (Parienty, 2005). Ces conditions de travail favorisent l'émergence de plus en plus fréquentes de risques psychosociaux dans le cadre du travail dans différents secteurs d'activités et sur une variété de postes. Une surcharge du travail qui résulte d'une organisation plaçant la satisfaction de la clientèle au centre sans que les salariés puissent y répondre peut être à l'origine de stress intense. C'est par exemple le cas des opérateurs de téléphonie qui peuvent subir des reproches de la clientèle pour cause de mauvais fonctionnement des produits sans pouvoir solutionner le problème.

## 4.2. Évolution des expositions professionnelles dans le secteur primaire

Dans le secteur primaire, plusieurs facteurs peuvent contribuer à la survenue des TMS chez les travailleurs. Ces facteurs incluent notamment les exigences physiques liées au travail, les postures de travail particulières, ainsi que les équipements et outils utilisés dans le cadre professionnel. En effet, les travailleurs du secteur primaire (vie-publique.fr, 2022) sont souvent exposés à des activités physiques intenses, comme la manutention de charges lourdes, le creusement de tranchées ou le forage de puits (S. Schneider & Susi, 1994; Kotowski et al., 2014; Choi et al., 2016). Ces activités peuvent entraîner une fatigue musculaire et des douleurs articulaires si elles sont effectuées de manière incorrecte ou répétée sur une longue période. Certaines postures de travail, comme se pencher en avant pendant de longues périodes ou lever les bras au-dessus de la tête, peuvent entraîner des tensions musculaires et des douleurs articulaires (Sarkar et al., 2016). L'utilisation d'outils ou d'équipements inadaptés ou mal entretenus peut également contribuer à la survenue des TMS. Par exemple, une scie à chaîne qui vibre trop ou un marteau-piqueur qui n'est pas correctement équilibré peut causer des lésions aux mains et aux bras (Johanning et al., 2020). Il existe très peu d'études qui visent à mettre en évidence les évolutions des expositions professionnelles dans le secteur primaire mais on sait que depuis le début du XXe siècle, la plupart des métiers de ce secteurs ont évolué. Au début du XXe siècle, la plupart des travailleurs du secteur primaire étaient employés dans l'agriculture, la pêche, la chasse, la cueillette ou l'exploitation minière (Eck, 2009; Fournier, 1992; Gadrey, 2005). Ces activités étaient souvent éprouvantes physiquement et exposaient les travailleurs à des risques de TMS. Puis, l'industrialisation s'est accélérée dans de nombreux pays, entraînant une augmentation de l'utilisation de machines et d'outils de travail de plus en plus automatisés (Hatzfeld, 2006; Jeanneau, 2011). Comme dans le secteur industriel, cela a eu pour effet de réduire la charge physique de certaines tâches, mais a également introduit de nouveaux risques de TMS liés à l'utilisation de ces équipements ou encore au stress provoqué par des cadences de plus en plus élevées (Medicine, 2001).

## 4.3. Les effets de la désindustrialisation

La désindustrialisation est un phénomène qui consiste en la réduction de l'importance de l'industrie dans l'économie d'un pays (Saeger, 1997; C.-S. Lee, 2005, pp. 1962–1997; Rowthorn

& Ramaswamy, 1999). Elle peut être causée par plusieurs facteurs, tels que la délocalisation de la production vers des pays à bas coûts de main-d'œuvre, la dépendance croissante à l'égard de technologies de pointe qui nécessitent moins de main-d'œuvre, ou encore les changements dans les modes de consommation et de production (Messaoudi, 2018; Fontaine & Vigna, 2019). La désindustrialisation a eu des effets multiples sur l'évolution des expositions aux facteurs de risques. Une première conséquence de ce phénomène est la fermeture de nombreuses usines et la perte d'emplois dans certaines industries, comme l'acier, le textile ou l'automobile. Ces industries étaient souvent associées à des risques de TMS élevés, du fait de la nature physique des tâches ou de l'utilisation d'outils et d'équipements lourds. La réduction de l'emploi dans ces industries a donc eu pour effet de réduire l'exposition des travailleurs à ces risques dans certains pays. Cette désindustrialisation a également entraîné une augmentation de l'emploi dans d'autres secteurs, comme les services ou les technologies de l'information (Di Bernardino & Onesti, 2021). Ces secteurs sont souvent moins physiques, mais peuvent comporter des risques de TMS liés à l'utilisation prolongée d'ordinateur ou à des postures de travail statiques (Matsugaki et al., 2022). A cela s'ajoute le fait que la désindustrialisation a parfois entraîné une précarisation de l'emploi et une réduction des protections sociales et des avantages pour les travailleurs (Komlosy, 2012). Ce constat peut également augmenter la probabilité de survenue des TMS, particulièrement dans certains secteurs où les risques sont déjà considérables, la précarisation des emplois et les conditions de travail sont propices à l'accroissement d'un stress intense, contribuant ainsi à l'apparition de ces pathologies.

#### 4.4. Le rôle des nouvelles technologies dans l'organisation au travail

Dans cette partie, nous nous focaliserons sur le rôle des nouveaux outils dans l'organisation au travail sous plusieurs formes : les nouvelles technologies avancées de production qui incorporent l'informatique dans le processus de production, et les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) définies par l'ensemble des outils et techniques permettant de télécommuniquer, d'utiliser l'informatique et l'audiovisuel dans le cadre du travail (Livian, 2008).



#### 4.4.1. Technologie de production industrielle

Dans les industries, l'apport de l'informatique s'est d'abord matérialisé en permettant l'automatisation de la production par le biais de machines contrôlables numériquement ou d'automates programmables. Les changements techniques de productions n'induisent pas nécessairement d'évolutions organisationnelles au travail mais selon une étude, 93% des entreprises manufacturières françaises entre 1988 et 1993 ayant réorganisé leurs entreprises étaient également amenés à utiliser de nouvelles technologies de production (Livian, 2008). Les premières évolutions observées dans l'organisation du travail résident dans le changement des rôles des différents salariés, les opérateurs étant nouvellement amenés à faire de la maintenance et du contrôle des approvisionnements. Les changements organisationnels découlant de l'utilisation de nouvelles technologies sont donc aussi induits par la gestion de ces outils de production au sein des entreprises. L'exemple du « juste-à-temps » est un concept qui illustre bien ces imbrications (Lyonnet, 2015). Cette méthode vise à augmenter la réactivité du système de production face à une demande tout en limitant son coût global. Elle a considérablement amélioré les performances de qualité et de délai de délivrance des produits aux consommateurs mais on constate des conséquences non négligeables sur les conditions de travail (réduction de l'espace de travail, accroissement des déplacements, rapidité d'exécution des tâches due à un engagement de délivrance rapide du produit, nécessité de mise à jour et de diffusion pour tenir compte des fréquents changements de programmes pour répondre à la demande des clients). Des études ont mis en évidence l'impact que l'exigence de ces systèmes de production à flux tendu ont sur la santé des salariés, en soulignant le lien entre ce rythme de travail intense et le sentiment croissant d'être soumis à de fortes contraintes de rythme, une forte pression et un stress de plus en plus élevé (Durant, 2004).

#### 4.4.2. Technologie de l'information et de la communication

Les technologies de l'informations ont des effets organisationnels qui diffèrent selon le type d'activité, les stratégies d'utilisation des acteurs, le profil des salariés et le contexte organisationnel avant la mise en place de ces nouveaux outils. Dans le domaine de la gestion de l'information, l'un des changements organisationnels les plus flagrant réside dans le fait qu'avec l'informatique, les échanges entre les acteurs sont largement facilités (plus grand volume et rapidité de diffusion de l'information), ce qui accroît la possibilité de coordination horizontale (Mercier, 1990). L'enrichissement des tâches des opérateurs facilité par une

communication plus fluide et plus rapide entre les acteurs découle donc en grande partie de l'utilisation de ce type d'outils. On constate par ailleurs l'émergence de travail collaboratif virtuel pouvant être à distance et avec elle de nouvelles formes d'organisations du travail (NFOT) (Charpentier, 2007; Silva & Ben Ali, 2010). Cette dématérialisation de l'information ne présente pas que des avantages puisqu'à titre d'exemple, selon le profil des salariés, l'adaptabilité et l'acceptabilité de ces nouveaux outils n'est pas la même (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009; Dubois & Bobillier-Chaumon, 2019). En effet, cette transformation du travail, associée au flux continu et massif d'informations (« infobésité ») et au stress numérique peut entraîner des problèmes de santé mentale chez certains individus. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le stress lié au travail est la principale cause de journées de travail perdues dans le monde, avec un coût estimé à presque 200 milliards de dollars par an (Hassard et al., 2018).

L'émergence d'outils de communication comme le téléphone a permis au 20<sup>ème</sup> siècle de révolutionner les échanges professionnels. Aujourd'hui, avec l'informatisation des outils de communication, on constate une évolution dans l'organisation au travail permettant une transmission quasi instantanée, un accroissement de la capacité de transmission, une réduction des coûts, et une plus grande capacité de stockage et de traitement de l'information (Livian, 2008). Par ailleurs, l'informatisation de la communication permet de s'affranchir des contraintes spatiales en facilitant les échanges entre salariés à distance (téléphone, visioconférence, échanges par mail, développement des e-commerce et/ou entreprises virtuelles) (Ettighoffer, 2001). Avec le développement de la numérisation et l'utilisation d'Internet, on connaît depuis plusieurs dizaines d'années une diffusion exponentielle de l'information de plus en plus importante avec une diversité de médium (ubiquité de l'information sous différentes formes : son, image, texte, vidéos) (Silva & Ben Ali, 2010). Dans les entreprises, une variété d'outils permettant de développer un travail collaboratif à distance sans besoin de se déplacer d'un bureau à l'autre ou alors en télétravaillant s'est développée. Plusieurs exemples peuvent être cités comme : les plateformes d'applications bureautiques contributives et collaboratives comme les plateformes de partage de documents en ligne et des applications de communication professionnelle, et l'utilisation de réseaux de type intranet permettant d'avoir accès aux informations de l'entreprise de façon privative et restreinte aux salariés (partage de données et d'informations sécurisées).

On constate une scission entre deux catégories de salariés : ceux qui utilisent très largement ces outils numériques (ex : les managers, cadres et métiers bureautiques) et ceux qui ne sont pas amenés à les utiliser dans le cadre de leur travail (ex : métiers manuels).

#### 4.5. Émergence des plateformes numériques à l'origine de nouveaux métiers

L'utilisation de plateformes numériques dans le secteur des services se fait de plus en plus fréquente (Nicot, 2019). L'exemple qui revient souvent dans le débat public est celui de « l'ubérisation » avec les livreurs à vélo et chauffeurs VTC pour qui les conditions de travail sont souvent très difficiles et qui pose de vrais problèmes d'éthiques (Boilait, 2022; Desnoyers, 2022; Lefebvre, 2021). Cette pratique très commode pour les consommateurs crée des problèmes pour les prestataires de services qui sont souvent considérés comme des travailleurs indépendants sans aucune protection sociale de la part du propriétaire de la plateforme qui prend une commission sur chaque service, rendant le statut de ces prestataires finalement précaire (Towers-Clark, 2019). Pour ces métiers, la rémunération dépend du nombre de clients rendant la concurrence entre prestataires de services rude. Il y a ici une nécessité d'optimisation des services pour satisfaire la clientèle souvent dans des délais courts puisque la rentabilité de ce modèle dépend de la masse de transactions effectuées. La précarisation, la rapidité des tâches dans des délais courts, la concurrence forte entre prestataires, etc. favorisent les risques psychosociaux et biomécaniques pouvant induire la survenue de TMS chez les personnes concernées (Guillemin, 2021). L'utilisation de plateformes informatisées ne s'arrête pas aux métiers « uberisés » puisque d'autres activités se développent, comme le *micro-jobbing* (tâches réalisées ponctuellement à l'aide de *smartphone*), la *tap economy* (travail à la demande), la *gig economy* (économie de petits boulots), qui passent toutes par des plateformes d'emploi de pair à pair, qui consistent à faire le lien entre des internautes demandeurs de services d'un côté et ceux qui en proposent (soutien scolaire, garde d'animaux, livraison de courses, conseils...) de l'autre (Nicot, 2019).

## 4.6. Données sur les expositions professionnelles

Plusieurs enquêtes ont été mises en place dans le monde pour évaluer les expositions professionnelles dans le temps. Le recueil des données d'expositions s'appuie généralement sur la distribution des entretiens avec questionnaire, des auto-questionnaires, et/ou des retours d'expertise de médecins ou hygiénistes. Dans le **tableau 3** figurent quelques exemples d'enquêtes ou cohortes ayant recueilli des informations sur les expositions professionnelles dans le temps.

**Tableau 3** : Exemple d'enquêtes avec suivi temporel des expositions professionnelles

Enquête	Pays	Recueil	Suivi temporel	Description de l'enquête
<i>European working condition survey (EWCS)</i>	Europe	Entretiens en face à face par le biais de questionnaires.	6 vagues de recueil : 1) 1995-1996, 2) 2000-2002, 3) 2005, 4) 2010, 5) 2015, 6) 2020 (les entretiens en face à face ont dû être interrompu à cause de la Covid-19.	Depuis son lancement en 1990, l'enquête européenne sur les conditions de travail (EWCS) a fourni une vue d'ensemble des conditions de travail en Europe. Les principaux objectifs de l'enquête sont d'évaluer et quantifier les conditions de travail des salariés et des indépendants dans toute l'Europe sur une base harmonisée, analyser les relations entre les différents aspects des conditions de travail, identifier les groupes à risque et les sujets de préoccupation ainsi que les progrès, suivre les tendances en fournissant des indicateurs homogènes sur ces questions et contribuer au développement de politique européenne sur les questions de qualité du travail et de l'emploi.
<i>Labour force Survey (LFS) (Database - Eurostat, 2019)</i>		Questionnaires.	3 vagues d'enquêtes sur les TMS : 1999, 2007 et 2013. Seul 2007 et 2013 traitent des expositions professionnelles.	L'enquête de l'Union européenne sur les forces de travail (EU-LFS) est une enquête par sondage transversale et longitudinale auprès des ménages, rassemblée par Eurostat à partir de données fournies par les États membres de l'UE, trois pays de l'AELE et trois pays candidats à l'UE. La base de données fournit des observations sur la participation au marché du travail et les personnes en dehors de la population active. Trois vagues d'enquêtes ont permis de mesurer les informations relatives aux TMS liés au travail 1999, 2007 et 2013.
Enquête conditions de travail ( <i>Insee, 2021</i> )	France	Entretiens en face à face par le biais de questionnaires.	7 vagues depuis 1984.	Enquête générée par la Dares, et renouvelée tous les sept ans, vise à obtenir une description concrète du travail, de son organisation et de ses conditions selon divers angles : horaires, rythmes de travail, efforts physiques ou risques encourus, pénibilité, organisation du travail, sécurité, coopération, conflits. Les individus recrutés sont issus de la population active occupée, salariée ou non.
Enquête Sumer (Arnaudo, 2012; Bodin, 2017)		Auto-questionnaires remplis dans la salle d'attente des médecins.	4 enquêtes : 1)2022-2003, 2) 2009-2010, 3) 2012-2013, 4) 2016-2017.	Enquête qui vise à faire l'état des lieux des expositions professionnelles des salariés. Ces enquêtes sont mises en place par la Direction générale du travail, la Dares et la Direction générale de l'administration et de la fonction publique (DGAFP). Les données ont été recueillies par les médecins du travail issu du régime général de la MSA en 1994, puis en 2003 elle a été étendue à la fonction publique hospitalière, EDF-GDF, La Poste, la SNCF et Air France. En 2010, d'autres corps de métiers ont été intégrés : les salariés de la RATP, les gens de mer, les agents des collectivités territoriales et, des agents de la fonction publique d'État.
Enquête Santé et itinéraire professionnels (SIP)		Entretiens en face à face par le biais de questionnaires.	2 vagues : 2006 et 2010.	L'enquête SIP, réalisée par la Drees et la Dares recueille des informations sur le travail, l'emploi et la santé de personnes interrogés deux fois à 4 années d'intervalle. Pour les 2 vagues, les individus étaient interrogés sur les caractéristiques de leur travail et leur santé au moment de l'enquête ; les risques psychosociaux faisaient l'objet d'une interrogation approfondie.

La cohorte Constances ( <i>Cohorte Constances (consultants des centres d'examen de santé de la sécurité sociale) (2017A706AU)</i> )		Auto-questionnaires. Appariement avec le SNIIRAM-CNAMTS, le SNGC-Cnav et les causes médicales de décès-CépiDc Inserm.	Collecte des données d'inclusion encore en cours (invitations à participer envoyées par vagues mensuelles). Collecte des données du suivi annuel mis en place depuis 2013.	Cohorte épidémiologique longitudinale destinée à fournir des informations sur l'estimation de prévalence de pathologies et de facteurs de risque, pour contribuer au développement de la recherche et de la surveillance épidémiologique. C'est une cohorte "généraliste", avec une orientation forte vers l'étude des déterminants professionnels et sociaux de la santé, en particulier les inégalités sociales de santé, les risques professionnels, le vieillissement et les maladies chroniques ; un accent particulier est également mis sur la santé des femmes. Lancé en 2009 avec une phase pilote de 4 000 individus, en 2016, elle compte 100 000 individus en entre 18 et 69 ans.
<i>The American working Condition survey (AWCS) (Maestas et al., 2017)</i>	USA	Entretiens en face à face par le biais de questionnaires.	6 vagues de recueil depuis 1991.	L'AWCS comprend plusieurs questions qui sont harmonisées avec l'Enquête européenne sur les conditions de travail (EWCS) menée simultanément. L'AWCS a recruté 3131 individus et recueilli des informations sur plusieurs dimensions des conditions de travail leur concernant, qui ont été choisies parce qu'elles sont particulièrement pertinentes pour comprendre la durabilité du travail. Des informations générales sur l'emploi/l'entreprise (nombre de travailleurs, ancienneté), l'équilibre travail-vie personnelle, le soutien de la direction et des informations détaillées sur la santé ont par ailleurs été recueillies.
<i>Québec Survey on Working and Employment Conditions and Occupational Health and Safety (EQCOTESS) (Stock et al., 2014)</i>	Canada	Entretiens téléphoniques	Les données ont été recueillies entre le 1er novembre 2007 et le 11 février 2008	Entretiens effectués sur plus de 5 000 travailleurs de plus de 15 ans constituant un échantillon représentatif de la population cible. Les questions posées aux individus étaient non spécifiques de pathologies en particulier (« En général, diriez-vous que votre santé est : Excellente, Très bonne, Bonne, Passable ou Mauvaise »).
<i>Korean Working Condition Survey (KWCS) (Kim et al., 2013)</i>	Asia	Entretiens papier et stylo lors de visites à domicile.	2 vagues une en 2006 et 2010	L'étude a été conçue pour évaluer les changements dans les conditions de travail à travers une analyse comparative des caractéristiques des conditions de travail. Les questions posées étaient spécifiquement ciblées sur les conditions de travail. L'étude ciblait les personnes employées à l'échelle nationale âgées de plus de 15 ans. La taille de l'échantillon ciblé était de 10 000 et la taille de l'échantillon final comprenait 10 019 personnes.

Même si on retrouve un large panel d'études sur l'ergonomie des TMS et la mise en évidence de facteurs de risques associés aux TMS dans les pays du Sud (Jellad et al., 2013; Mushayi et al., 2014; Kaka et al., 2016; Ngunde et al., 2020; Shaikh et al., 2020; Bouzgarrou, et al., 2021; Grissa et al., 2021), les études sur l'évolution des expositions professionnelles au cours du temps sont lacunaires. La majorité des contribution recensées sont principalement localisées en Europe, en Amérique du Nord, et en Asie.

## 4.7. Évolution des expositions professionnelles

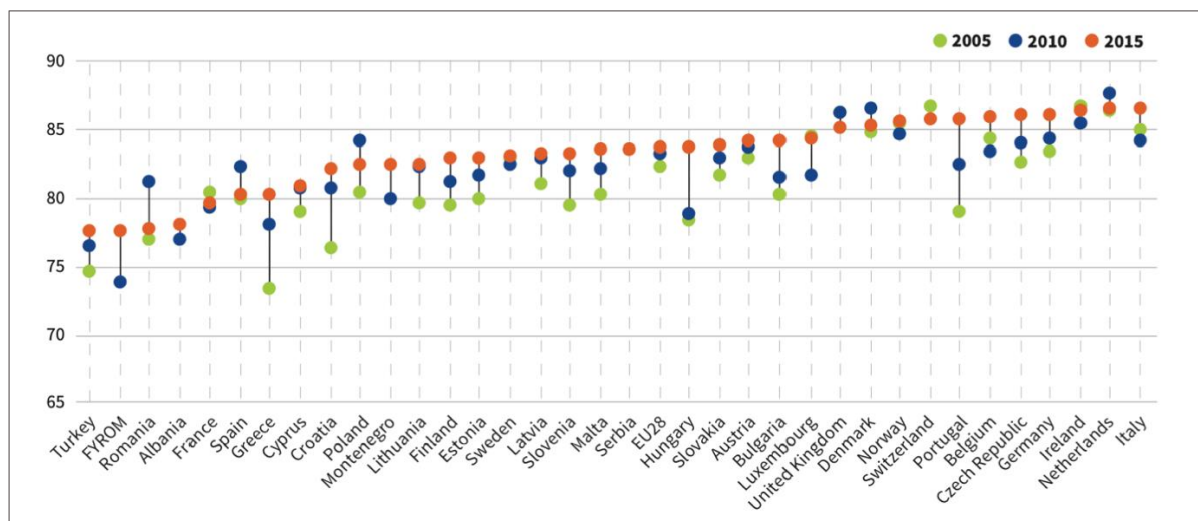
En Europe, les facteurs de risques biomécaniques ont traditionnellement fait l'objet de nombreuses actions de prévention notamment dans les industries manufacturières (Eurofound, 2017). Cependant, bien qu'on constate une économie européenne globalement davantage axée sur les services, le niveau d'exposition aux risques physiques ne diminue pas de manière significative. Il existe notamment encore de nombreux emplois qui, en raison du niveau d'exposition à des facteurs biomécaniques ou psychosociaux élevés, présentent un risque élevé pour la santé des travailleurs.

### 4.7.1. Évolution des facteurs biomécaniques

Les emplois « pénibles » impliquant que les travailleurs soient exposés pendant une période à plusieurs facteurs de risque peuvent largement participer à la survenue de conditions induisant des effets durables et irréversibles sur la santé. Certaines professions ont tendance à combiner plusieurs expositions, créant des emplois à risque en termes de santé physique et mentale pour les travailleurs les occupant (Eurofound, 2017). Plusieurs expositions d'origine biomécaniques ont été identifiées dans la survenue de ces pathologies comme les facteurs de risque physiques tels que les mouvements répétitifs, le port de charges lourdes, des flexions et des torsions fréquentes, l'exposition au froid et un temps de récupération insuffisant (da Costa & Vieira, 2010)).

D'après le rapport de 2017 de l'enquête *Eurofound*, l'évolution de l'indice de l'environnement physique indique des améliorations depuis 2005 dans la plupart des pays européens, à l'exception de la France et du Royaume-Uni (**figure 7**). Les améliorations les plus notables ont été signalées en Grèce, au Portugal (les deux pays affichent une augmentation de qualité d'environnement physique de sept points), en Hongrie et en Croatie (en hausse de cinq et six points, respectivement).

**Figure 7 :** Index sur l'environnement physique (0-100) par pays entre 2005 et 2015



Note : graphique issu du rapport de 2017 de l'enquête européenne *Eurofound*. L'index sur l'environnement physique prend en compte 13 indicateurs comprenant : 1) les vibrations provenant de l'utilisation de machines/outils sollicitant les mains, 2) bruit tellement élevée qu'il est nécessaire d'élever la voix pour parler, 3) haute température, 4) basse température que ce soit à l'intérieur ou extérieur du lieu de travail, 5) respirer de la fumée, 6) de la vapeur (solvants et diluants), 7) manipulation ou contact cutané avec des produits ou substances chimiques, 8) le tabac, 9) manipuler ou être en contact direct avec des matériaux qui pourraient être infectieux, tels que les déchets, les fluides corporels du matériel de laboratoire, 10) positions fatigantes ou douloureuses, 11) lever ou déplacer des personnes, 12) porter ou déplacer de lourdes charges, 13) geste répétitifs de la main et du bras.

Toujours dans le même rapport, lorsque l'on regarde la répartition des scores d'index sur l'environnement physique par secteurs, il est mentionné que les métiers de la construction ont de loin le score le plus bas (71), alors que les services financiers et de l'éducation présentent les scores les plus élevés (respectivement 93 et 91). Des différences professionnelles importantes sont également observées : par exemple il y a une différence de 21 points entre les artisans (70) et les commis (91). Les opérateurs d'installations et de machines (75), les travailleurs agricoles (76) et les professions élémentaires (79) présentent tous des scores inférieurs à la moyenne européenne (84), tandis que les travailleurs des services et de la vente sont un point au-dessus de la moyenne de l'UE. Sur la base des questions de l'EWCS concernant l'exposition aux risques physiques, trois indices combinés ont été construits : 1) les risques liés à la posture (ergonomique) qui mesure l'exposition aux vibration, 2) les positions fatigantes, le levage de personnes, le port de charges lourdes et 3) les mouvements répétitifs.

En France, de 1994 à 2010, dans le secteur privé, l'enquête Sumer a permis de mettre en évidence que les expositions aux contraintes physiques dans le travail ont légèrement diminué chez l'ensemble des salariés (Arnaudo, 2012). Globalement, les contraintes physiques intenses définies par : 1) le fait d'être en position debout/piétinement et la manutention manuelle de



charges, de plus de 20 heures ou plus par semaine ; 2) les gestes répétitifs et les vibrations transmises aux membres supérieurs pendant 10 heures ou plus par semaine ; et 3) les contraintes posturales de 2 heures ou plus par semaine (à genou, bras en l'air, accroupi ou encore en torsion), concernaient environ 40% des salariés en 2010, ce qui est nettement inférieure aux chiffres de 1994. Lorsqu'on regarde le détail des expositions biomécaniques par secteurs et catégories socioprofessionnelles, il arrive que certaines expositions varient au cours du temps avec une augmentation en 2003 puis une diminution en 2010. C'est le cas par exemple de l'exposition à la manutention manuelle de charges de 20 heures ou plus par semaine dans le domaine de l'agriculture, la construction, ou encore les ouvriers qualifiés et non qualifiés (voir **tableau 4**).

En complément des données issues des enquêtes Sumer qui s'appuient sur la déclaration des salariés du régime général, il convient de regarder l'évolution des expositions dans les enquêtes Conditions de travail générées par la Dares et effectuées à l'échelle de la population générale (voir **tableau 3**). Ces enquêtes Conditions de travail (Algava et al., 2014) permettent de mettre en évidence qu'à l'échelle des salariés inclus dans l'enquête, l'exposition à plusieurs contraintes physiques a augmenté jusqu'en 1998 pour ensuite se stabiliser jusqu'en 2013. Par ailleurs, on remarque que chez certaines catégories socioprofessionnelles, une nette augmentation (notamment chez les ouvriers qualifiés et non qualifiés) est observée avec une exposition à plusieurs contraintes physiques qui évolue de 57,2% en 2005 à 63% en 2013.

**Tableau 4 : Évolution des contraintes physiques dans le travail en France de 1999 à 2010 (en %)**

	Secteur d'activité				Catégories socioprofessionnelles						Ensemble des salaires
	Agriculture	Industrie	Construction	Tertiaire	Cadres et professions intellectuelles supérieures	Professions intermédiaires	Employés administratifs	Employés de commerce et de service	Ouvriers qualifiés	Ouvriers non qualifiés#	
<b>Au moins une contrainte physique intense</b>											
1994	57,5	49,3	66,2	40,4	11,6	29,7	15,8	62,5	67,1	72,2	45,7
2003 (champ constant)*	64,2	45,8	64,8	34,9	8,5	25,1	10,7	60,5	63,7	70,9	40,4
2010 (champ constant)*	54,0	42,4	62,8	35,8	10,2	23,4	15,7	56,7	60,1	68,2	39,8
<b>Manutention manuelle de charges (def eur***) 20 heures ou plus par semaine</b>											
1994	3,7	8,1	10,4	6,4	0,6	2,7	0,5	8,3	11,0	16,4	7,0
2003 (champ constant)*	9,5	8,6	13,5	5,4	0,3	2,2	0,6	8,9	12,0	18,3	6,9
2010 (champ constant)*	5,8	7,7	11,9	5,4	0,4	1,7	0,5	8,7	11,3	15,8	6,4
<b>Position debout ou piétinement 20 heures ou plus par semaine</b>											
1994	24,0	33,9	35,0	25,4	6,5	19,1	2,3	46,9	40,6	44,8	28,4
2003 (champ constant)*	29,5	33,2	39,0	22,8	3,5	16,3	2,5	45,1	43,1	46,8	26,8
2010 (champ constant)*	21,8	29,0	38,2	20,9	2,6	12,9	2,6	39,4	38,3	43,3	24,0
<b>Autres contraintes posturales (position à genou, maintien de bras en l'air, posture accroupie, en torsion, etc.) 2 heures ou plus par semaine</b>											
1994	42,6	18,5	52,2	18,6	5,1	13,4	8,6	25,4	37,7	35,3	22,5
2003 (champ constant)*	45,5	19,0	52,0	17,0	4,3	11,7	5,6	26,6	35,8	38,2	20,8
2010 (champ constant)*	36,8	18,6	49,3	17,8	3,5	9,7	4,4	29,0	36,4	39,9	21,0
<b>Conduite professionnelle sur la voir publique</b>											
1994	27,8	14,4	37,9	24,2	38,4	33,8	7,2	9,6	32,7	10,2	22,9
2003 (champ constant)*	35,9	14,7	53,3	27,4	37,2	37,2	9,8	12,5	36,5	16,2	26,5
2010 (champ constant)*	36,6	16,8	54,5	25,5	32,5	30,8	11,9	14,2	40,8	18,2	26,4

Note : ces résultats proviennent du rapport de 2017 de la DARES (Algava et al., 2014).

\* Résultats des enquêtes SUMER 2003 et 2010 portant sur le même champ que l'enquête SUMER 1994

# Par convention, les ouvriers agricoles sont classés dans cette catégorie.

\*\* Position debout ou piétinement 20h ou plus par semaine, manutention manuelle de charges 20h ou plus par semaine, gestes répétitifs 10h ou plus par semaine, vibrations transmises aux membres supérieurs 10h ou plus par semaine, contraintes posturales 2h ou plus par semaine (à genou, bras en l'air, accroupi ou en torsion).

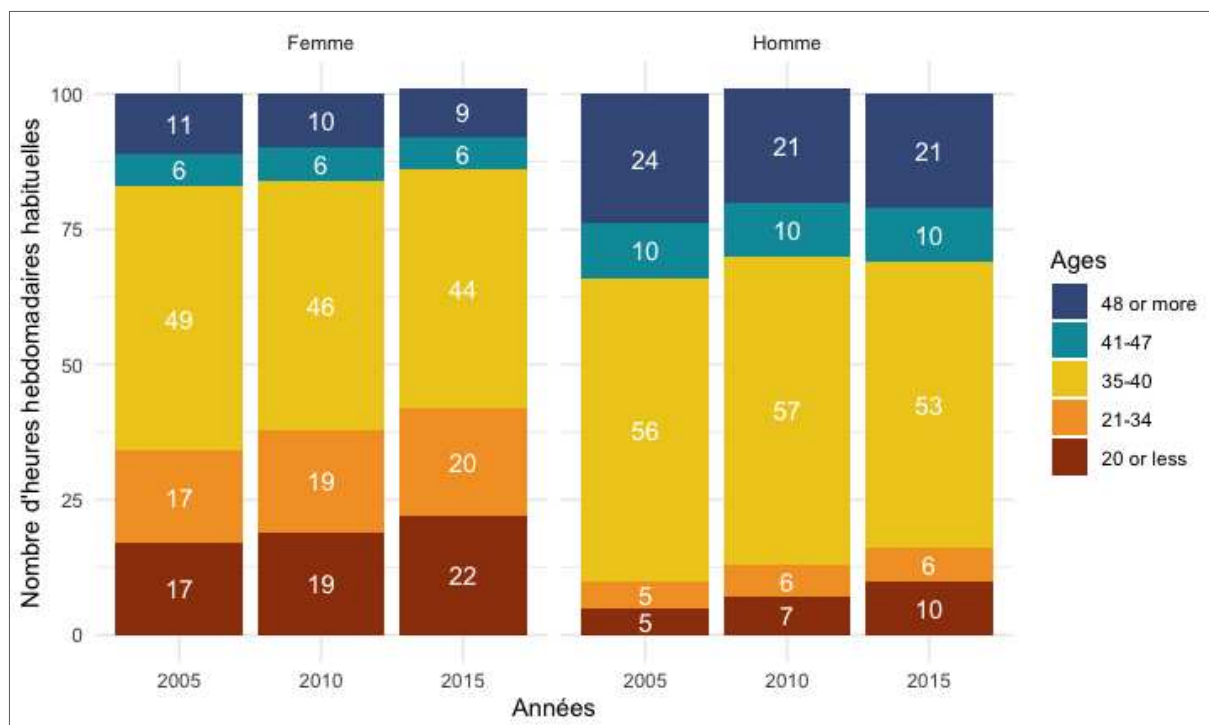
\*\*\* Définition européenne se référant à la directive 90/269/CEE du 29 mai 1990, section 1, article 2

Champ : ensemble des salariés du champ 1994 (hors fonction publique) ; France métropolitaine.

#### 4.7.2. Évolution des facteurs organisationnels et psychosociaux

D'après le rapport de 2017 de EWCS, parmi la proportion de travailleurs européens recrutés dans l'enquête, une personne sur dix déclarait n'avoir « jamais » ou « rarement » le temps de faire son travail. Les hommes rapportent globalement une plus grande intensité de travail que les femmes dans le cas où le travail devait s'effectuer dans des délais courts les trois quarts et plus du temps à un rythme élevé, alors que les femmes étaient plutôt sujettes à des interruptions perturbatrices fréquentes. Même si on constate une légère diminution du temps de travail au-delà de 35 heures par semaines pour les hommes et les femmes, plus de 80% des hommes et environ 60% des femmes sont amenées à travailler plus de 35 heures par semaines en 2015.

**Figure 8 :** Répartition des heures hebdomadaires habituellement travaillées par catégories d'âge pour les hommes et les femmes de 2005 à 2015 en Europe d'après l'enquête EWCS (en %).



Note : graphique inspiré du rapport de 2017 de l'enquête européenne *Eurofound*.

En France, si les expositions aux facteurs de risques biomécaniques semblent majoritairement diminuer ou se stabiliser au cours du temps, les facteurs organisationnels et psychosociaux présentent des tendances globales à l'augmentation. C'est d'ailleurs ce qui a été décrit dans les enquêtes Sumer et Conditions de travail qui ont montré qu'un grand nombre de contraintes organisationnelles ont augmenté depuis le début des années 1990. Lorsqu'on regarde les **tableaux 5 et 6** issus du rapport sur les Conditions de travail et la reprise de l'intensification du

travail (Algava et al., 2014), on remarque que pour la grande majorité des secteurs et catégories socioprofessionnelles les expositions aux contraintes organisationnelles et relationnelles, comme le fait de subir au moins 3 contraintes de rythme de travail, avoir un rythme de travail imposé par une demande extérieure obligeant à répondre immédiatement ou encore devoir fréquemment interrompre une tâche pour en faire une autre qui n'était pas prévu sont en très nette augmentation (jusqu'à deux fois plus élevé en 2010 par rapport à 1994), sauf chez les agriculteurs et ouvriers.

**Tableau 5 : Contraintes organisationnelles et relationnelles**

En %

	Secteur d'activité				Catégories socioprofessionnelles						Ensemble des salariés
	Agriculture	Industrie	Construction	Tertiaire	Cadres et professions intellectuelles supérieures	Professions intermédiaires	Employés administratifs	Employés de commerce et de service	Ouvriers qualifiés	Ouvriers non qualifiés#	
<b>Subir au moins 3 contraintes de rythme de travail**</b>											
1994.....	20,4	36,9	21,8	26,1	19,9	29,7	27,0	21,2	32,2	35,3	28,3
2003 (champ constant)* .....	19,2	46,4	31,8	30,7	26,6	35,9	31,2	24,2	43,2	40,0	34,4
2010 (champ constant)* .....	16,9	45,6	28,1	34,0	30,3	37,1	33,9	30,7	41,3	37,3	35,5
<b>Avoir un rythme de travail imposé par : une demande extérieure obligeant à une réponse immédiate</b>											
1994.....	21,4	36,0	29,1	61,0	64,9	60,3	60,8	67,5	34,0	20,5	49,8
2003 (champ constant)* .....	26,0	42,9	37,9	62,9	66,2	63,6	64,3	69,4	41,8	27,6	55,2
2010 (champ constant)* .....	25,7	49,0	42,6	61,6	68,2	64,5	66,1	64,1	45,8	30,6	56,8
<b>des normes de production ou des délais à respecter en une journée au plus</b>											
1994.....	30,8	50,8	36,9	32,5	25,6	36,4	29,7	21,0	52,1	50,7	37,6
2003 (champ constant)* .....	35,7	56,3	51,8	36,3	32,8	40,4	32,9	24,0	59,3	56,1	42,5
2010 (champ constant)* .....	34,0	53,9	43,5	37,5	35,4	38,6	34,3	28,4	55,5	52,6	41,2
<b>une dépendance immédiate vis à vis des collègues</b>											
1994.....	20,4	33,5	29,4	23,2	22,7	26,7	25,0	18,4	29,0	33,1	26,3
2003 (champ constant)* .....	22,5	36,6	32,4	24,3	27,4	27,5	25,2	20,7	31,7	33,2	27,9
2010 (champ constant)* .....	14,5	34,8	30,6	23,7	26,4	26,3	23,3	21,3	30,0	30,2	26,4
<b>les contrôles ou surveillances permanents exercés par la hiérarchie</b>											
1994.....	26,5	31,1	31,0	27,0	12,5	22,9	25,4	30,8	33,0	41,0	28,4
2003 (champ constant)* .....	16,5	29,8	25,0	23,8	11,5	21,6	21,9	27,3	32,1	36,2	25,2
2010 (champ constant)* .....	14,4	28,7	23,5	26,9	14,2	23,2	25,6	33,1	30,7	33,5	26,8
<b>un contrôle ou un suivi informatisé</b>											
1994.....	6,4	15,6	4,2	16,1	13,6	19,0	25,0	9,6	11,5	8,7	14,5
2003 (champ constant)* .....	8,9	33,2	8,9	27,2	25,9	33,3	36,5	16,3	26,6	19,9	26,9
2010 (champ constant)* .....	7,2	34,1	10,6	31,9	29,6	36,8	39,1	24,7	29,0	20,0	30,1
<b>Devoir fréquemment interrompre une tâche pour en faire une autre non prévue</b>											
1994.....	25,9	44,6	38,1	49,6	66,0	56,2	58,4	42,5	35,8	25,5	46,2
2003 (champ constant)* .....	44,4	56,7	48,5	60,6	75,5	67,9	70,2	52,3	45,6	39,3	58,4
2010 (champ constant)* .....	41,6	55,5	47,3	57,5	74,1	67,4	67,3	50,1	42,8	34,5	56,0
<b>Parmi les salariés qui doivent fréquemment interrompre une tâche : cette interruption d'activité perturbe leur travail</b>											
2003 (champ constant)* .....	40,2	53,4	47,3	50,1	54,6	53,2	52,9	41,6	50,2	43,1	50,6
2010 (champ constant)* .....	28,3	47,4	43,2	43,7	47,2	47,1	48,3	34,8	42,5	41,0	44,2
<b>Ne pas pouvoir faire varier les délais fixés</b>											
2003 (champ constant)* .....	26,3	41,0	34,2	33,7	26,8	29,3	35,5	33,6	42,9	45,3	35,4
2010 (champ constant)* .....	25,1	39,5	33,9	35,6	27,5	31,9	37,1	35,7	39,8	46,2	36,1
<b>Faire généralement appel à d'autres quand il se produit quelque chose d'anormal</b>											
2003 (champ constant)* .....	23,2	23,0	25,3	20,4	7,1	11,8	21,9	29,2	24,8	41,4	21,5
2010 (champ constant)* .....	20,0	22,2	26,4	23,2	8,9	14,9	22,3	32,2	24,8	40,0	23,2
<b>Pour effectuer correctement le travail, ne PAS avoir en général des moyens matériels adaptés et suffisants</b>											
2003 (champ constant)* .....	13,4	23,0	14,5	18,4	13,8	19,4	14,4	20,7	21,7	22,9	19,1
2010 (champ constant)* .....	8,1	19,4	9,8	14,7	10,4	14,9	11,2	17,0	17,7	17,6	15,1
<b>Être en contact direct (de vive voix ou par téléphone) avec le public</b>											
1994.....	32,6	37,9	45,5	79,1	85,0	79,8	82,9	85,9	39,1	19,6	63,2
2003 (champ constant)* .....	54,4	40,4	67,7	83,1	77,3	82,0	88,5	92,4	52,0	34,9	70,9
2010 (champ constant)* .....	50,5	46,5	68,2	82,8	78,1	84,4	90,6	92,6	56,5	38,6	73,7
<b>Vivre en permanence ou régulièrement des situations de tension dans les rapports avec le public</b>											
2003 (champ constant)* .....	4,8	4,8	5,5	12,7	14,4	13,2	13,2	13,4	4,5	1,9	10,0
2010 (champ constant)* .....	1,3	3,1	4,1	10,0	9,2	10,7	11,1	11,3	3,4	1,9	7,9

\* Il s'agit des résultats des enquêtes SUMER 2003 et SUMER 2010 portant sur le même champ que l'enquête SUMER 1994.

# Par convention, les ouvriers agricoles sont classés dans cette catégorie.

\*\* Parmi lesquelles : le déplacement automatique d'un produit ou d'une pièce et/ou la cadence automatique d'une machine, d'autres contraintes techniques, la dépendance immédiate vis-à-vis du travail d'un ou plusieurs collègues, des normes de production ou des délais à respecter en une journée au plus, une demande extérieure obligeant à une réponse immédiate, les contrôles ou surveillances permanents exercés par la hiérarchie, un contrôle ou un suivi informatisé.

Champ : ensemble des salariés du champ 1994 (hors fonction publique) ; France métropolitaine.

Note : tableau issu du rapport des enquêtes conditions de travail et la reprise de l'intensification du travail (Algava et al., 2014).

Toujours dans le même rapport sur les Conditions de travail, il est mentionné que la coopération entre les travailleurs au sein des entreprises est de plus en plus fréquente. 79% des salariés en 2013 déclarent être régulièrement aidés par leurs collègues ou leurs supérieurs lorsque les tâches demandées sont délicates ou compliqués (augmentation de 5% depuis 2005). Chez les salariés qui déclarent travailler dans un environnement coopératif, le sentiment d'être contraint à travailler dans l'urgence est d'ailleurs moins fréquent. Cependant, le nombre de salariés qui mentionnent le fait de « vivre des situations de tension, souvent ou suffisamment pour perturber le travail », ou bien « ne pas avoir des collègues ou des collaborateurs en nombre suffisant pour effectuer correctement le travail » est de plus en plus fréquent. L'évolution des comportements hostiles dans le cadre du travail décrit par secteur d'activité et catégories socioprofessionnelles est majoritairement en nette augmentation depuis 2003. Les travailleurs dont les changements organisationnels ont été plus drastiques et dont l'emploi est d'avantage précaire ou instable (Algava et al., 2014) sont les plus exposés à ce type de tensions (**tableau 6**).

Depuis 2005, la proportion de travailleurs en situation de précarité ou d'instabilité (Algava et al., 2014) a largement augmenté passant d'un quart en 2005 à un tiers en 2013. En 2005, 11% des salariés inclus dans l'enquête redoutaient le fait de perdre leur emploi dans les années à venir contre 17% en 2013. Le sentiment d'incertitude résultant d'une précarité ou instabilité de l'emploi plus fréquente est fortement associé à une plus forte intensité du travail (De Witte et al., 2015). C'est ce que l'on voit notamment chez 61% des intérimaires et 46% des salariés précarisés comme les ouvriers chez qui le fait de cumuler trois contraintes sur leur rythme de travail ou plus est plus fréquent que le reste des travailleurs (35% pour l'ensemble des salariés) (Algava et al., 2014).

**Tableau 6 : Intensité du travail et tensions entre collègues selon les situations de précarité et les changements dans le travail.**

	Répartition (en %)		Trois contraintes de rythme ou plus (2013)		Tensions avec les collègues (2013)	
	2005	2013	%	Odds ratio	%	Odds ratio
<b>Situation de précarité ou d'instabilité</b>						
Intérimaires .....	2	2	61	1,9	18	NS
Apprentis, stagiaires, contrats aidés ou CDD .....	10	12	31	0,9	15	0,6
Salariés en CDI à temps partiel « subi » .....	4	4	21	0,7	14	0,7
Salariés en CDI ayant des craintes pour leur emploi .....	11	17	46	1,4	32	1,5
Salariés « stables » (tous les autres) .....	73	65	33	ref.	22	ref.
<b>Environnement de travail fortement modifié au cours des douze derniers mois par...</b>						
Un changement de poste ou fonction .....	11	17	46	1,2	30	1,1
Un changement dans les techniques utilisées.....	14	14	50	1,5	30	1,1
Une restructuration, un déménagement.....	11	14	45	1,2	30	NS
Un changement de l'organisation du travail.....	17	21	48	1,6	33	1,5
Un plan de licenciements .....	-	4	47	NS	33	NS
Un rachat ou changement de direction.....	-	14	45	1,2	31	1,2
Une autre raison.....	5	7	44	1,4	33	1,4
<b>Ensemble.....</b>	-	-	<b>35</b>	-	<b>23</b>	-

NS : non significatif

Lecture : en 2013, 17 % des salariés ont dit avoir vu leur environnement de travail fortement modifié au cours des douze derniers mois par un changement de poste ou de fonction. 46 % d'entre eux cumulent trois contraintes ou plus en termes de rythme de travail. Dans une régression logistique modélisant le fait d'avoir au moins trois contraintes de rythme et contrôlant l'âge, le sexe, la catégorie socioprofessionnelle et le secteur d'activité, l'*odds ratio* associé au fait d'avoir changé de poste ou de fonction est significatif au seuil de 5 % et vaut 1,2 : à caractéristiques identiques, les salariés qui ont changé de poste ou de fonction ont une probabilité d'être soumis à trois contraintes de rythme ou plus plutôt que de ne pas y être soumis, qui est 1,2 fois supérieure à celle des salariés qui n'ont pas connu de tel changement.

Champ : salariés de France métropolitaine.

Source : Dares, DGAFF, Drees, Insee, enquêtes Conditions de travail (2005, 2013).

(1) Il s'agit d'une définition assez extensive recouvrant précarité et instabilité, dans le prolongement du rapport du Cnis de septembre 2008 sur la définition d'indicateurs en matière d'emploi, de chômage et de précarité, « Emploi, chômage et précarité. Mieux mesurer pour mieux débattre et mieux agir ». Cette définition regroupe différentes catégories :

- des salariés qui sont en CDI mais sont à temps partiel « subi » (ils ont déclaré être à temps partiel parce qu'ils n'ont pas trouvé d'emploi à temps complet) ;
- des salariés qui sont en CDI mais ont des craintes pour leur emploi dans l'année qui vient ;
- des salariés intérimaires ;
- enfin des salariés qui sont apprentis, stagiaires, en contrat aidé ou en CDD.

Tous ceux qui ne font partie d'aucune de ces quatre catégories sont considérés comme des salariés « stables ».

(2) Eurofound (2012), ERM Report 2012 - « After restructuring. Labour markets, working conditions and life satisfaction », Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Note : tableau issu du rapport des enquêtes conditions de travail et la reprise de l'intensification du travail (Algava et al., 2014).

## 4.8. Évolution de la démographie professionnelle et TMS

L'augmentation de l'espérance de vie dans de nombreux pays est l'une des réalisations les plus marquantes du XX<sup>ème</sup> siècle (Christensen et al., 2009; Varianou-Mikellidou et al., 2019). Selon les estimations, la plupart des enfants nés depuis l'an 2000 pourraient atteindre l'âge de 100 ans si cette tendance se maintient au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle. Cette prévision repose sur l'hypothèse que la mortalité avant l'âge de 50 ans restera stable et que la probabilité de décès diminuera à un taux qui donne des améliorations annuelles de l'espérance de vie périodique de 0,2 ans (Christensen et al., 2009).



Cependant, il est important de noter que cette augmentation de l'espérance de vie n'est pas uniforme dans tous les pays du monde, avec certaines régions enregistrant une augmentation significative tandis que d'autres connaissent une croissance moins importante, une stabilité relative ou même une diminution comme c'est le cas aux Etats-Unis (National Center for Health Statistics, 2022; WHO, 2021a, 2022). L'augmentation de l'espérance de vie de la population est généralement considérée comme un indicateur positif de l'amélioration des conditions de vie dans un pays. Toutefois, cette augmentation de l'espérance de vie pose également des défis importants en termes d'espérance de vie en bonne santé. En effet, de nombreux gouvernements dans le monde sont confrontés à une augmentation de la proportion de personnes âgées, tandis que le nombre de jeunes entrant sur le marché du travail est en diminution. Environ 55% des gouvernements du monde considèrent cela comme une préoccupation majeure (*European Working Conditions Surveys (EWCS)*, 1990; Varianou-Mikellidou et al., 2019). A cela s'ajoute le fait qu'un nombre croissant de personnes âgées restent sur le marché du travail avec une retraite de plus en plus retardée (Winston & Barnes, 2007). D'ailleurs dans de nombreux pays de l'UE, une réponse face au vieillissement globale de la population est de mettre en place des politiques d'allongement de la vie active comme par exemple la mise en place de réformes des retraites (Steenstra et al., 2017). L'expérience et les compétences spécifiques des travailleurs âgés et plus expérimentés peuvent être bénéfiques pour les entreprises, surtout dans les secteurs où l'expérience est précieuse (David et al., 2001).

Toutefois, les personnes de plus de 55 ans sont plus enclines à développer des problèmes de santé auto-déclarés, et plus sujettes aux absences pour maladies de longue durée résultant par exemple d'une TMS (Varianou-Mikellidou et al., 2019). Comme mentionné précédemment, le risque de TMS augmente avec l'âge (Freemont & Hoyland, 2007; Gheno et al., 2012). Chez les personnes âgées, le temps de guérir d'un TMS est donc plus long à la fois pour des raisons biologiques mais aussi parce que la probabilité d'avoir déjà eu un ou plusieurs TMS au cours de sa vie est plus élevée chez ces tranches d'âge (Casiano et al., 2022). Les approches courantes des projections de TMS appliquent des taux de prévalences actuels aux projections de population en ignorant les tendances temporelles de l'incidence par âge (Suka & Yoshida, 2009; Ackerman et al., 2019).



Il est également possible que l'évolution des expositions professionnelles au cours de la vie puisse avoir un impact sur la survenue de TMS. En effet, étant donné que les personnes âgées ont souvent une expérience de travail plus longue, il est probable qu'elles aient été exposées à un plus grand nombre de situations de travail différentes au cours de leur carrière. De ce fait, il est plus probable que leur expérience professionnelle ait connu une plus grande variabilité au fil des ans, ce qui peut augmenter la possibilité que des facteurs de risque pour les TMS aient été présents à un moment ou un autre. En comparaison, les personnes plus jeunes ont de facto une expérience de travail moins longue et ont donc été exposées à moins de situations de travail différentes, ce qui peut réduire la variabilité de leurs expositions professionnelles et, par conséquent, leur risque de développer des TMS.

## **5. Des connaissances supplémentaires nécessaires pour une meilleure prévention**

Les connaissances sur les facteurs de risques des TMS sont nombreuses : contraintes biomécaniques et posturales, contraintes horaires, stress au travail, modifications des durées des tâches et des horaires induisant une intensification du travail, exposition au froid/chaleurs extrêmes, etc. Les TMS d'origine professionnelle sont des pathologies multifactorielles dont les multiples expositions ont été étudiées mais dont les données restent lacunaires notamment dans les pays de l'hémisphère Sud. Un autre aspect pour lequel il existe très peu de données est la latence dans la survenue des TMS. La latence est le délai qui s'écoule entre le moment où une personne est exposée à un facteur de risque pour la santé et le moment où se manifeste une maladie ou un trouble de santé lié à cette exposition. En ce qui concerne les TMS d'origine professionnelle, la latence peut être très variable. Elle peut être immédiate, lorsque les TMS se manifestent quelques heures ou quelques jours après l'exposition, ou bien elle peut être différée, lorsque les TMS se développent progressivement au fil du temps. C'est par exemple de cas d'un port de charge lourde ponctuel et conséquent qui peut provoquer un mal de dos qui se manifeste rapidement, ou encore de douleurs au niveau du poignet après plusieurs années de travail en utilisant une souris d'ordinateur mal adapté provoquant des douleurs qui se manifesteront sur le long terme. La latence des TMS est souvent difficile à évaluer de manière précise, en partie parce que l'exposition à un facteur de risque peut se prolonger sur de nombreuses années, voire sur toute une vie professionnelle. Il y a par ailleurs très peu de recherches sur les cycles de guérison et de récurrences des TMS. De plus, du fait de leur caractère plurifactoriel, d'autres facteurs peuvent influencer le délai de survenue des TMS (comme mentionné plus haut : l'âge, le genre, l'état de santé général, etc.).

Par ailleurs, du fait de l'évolution rapide de l'organisation au travail avec l'émergence de nouvelles technologies, de nouvelles contraintes, de nouveaux métiers, et la précarisation des salariés impactant leurs conditions de vie, un grand nombre de questions restent encore non élucidées. De ce fait, il est difficile de distinguer les effets individuels et synergiques entre les différentes expositions participant à leur survenue. Une analyse des interrelations entre les

trajectoires professionnelles et la survenue des TMS serait notamment pertinente pour la prévention des risques liés au travail.

Comme mentionné plus haut, il a été décrit dans la littérature scientifique que l'incidence de la plupart des TMS d'origine non inflammatoire augmentait significativement avec l'âge (Gheno et al., 2012; Villa-Forte, 2022). Dans un contexte où le vieillissement de la population active mondiale est observé et les évolutions des expositions professionnelles sont attendues, il est raisonnable de penser que l'épidémie des TMS lié au travail est susceptible d'augmenter (Harasty C., 2020). Un des outils qui pourrait permettre d'orienter les politiques et actions de prévention en fonction de l'impact prévisible de leur efficacité serait de produire des projections de l'évolution temporelle des TMS. Ces projections permettraient notamment d'aider à l'orientation des politiques et actions de prévention de manière efficace. En effet, ces projections pourraient être utilisées pour allouer les ressources de manière stratégique, mettre en place des programmes de prévention primaire et secondaire ciblés, et former les intervenants de manière adaptée. Elles pourraient également être utilisées pour sensibiliser la population aux risques de TMS et promouvoir une culture de santé au travail. En somme, les projections sur l'évolution temporelle des TMS sont un outil précieux qui peut aider à renforcer la prévention des risques professionnels et à protéger la santé des travailleurs.

Les approches courantes de projections de pathologies consistent à appliquer des taux d'incidences ou de prévalences actuels aux projections de population en ignorant les tendances temporelles des expositions (Leino, 1989; Suka & Yoshida, 2009; Ackerman et al., 2019). Or certaines expositions professionnelles évoluent au cours de la vie pouvant potentiellement avoir un impact dans la survenue des TMS (*European Working Conditions Surveys (EWCS)*, 1990). Il a d'ailleurs récemment été montré que pour des pathologies dont les facteurs de risques peuvent évoluer au cours du temps et qui sont comparables aux TMS, la prise en compte ou non des évolutions du temps séculaire dans les expositions peut modifier considérablement les estimations de projection (Ahmadi-Abhari et al., 2017). Avant de réaliser des projections de l'évolution des TMS, il est donc nécessaire d'avoir une bonne compréhension de la contribution de l'âge et des tendances temporelles des expositions professionnelles dans la survenue des TMS.

## 6. Objectif général

### 6.1. Objectif principal

L'objectif principal de ce travail de thèse est de projeter le fardeau des TMS à l'horizon 2035. Pour y parvenir, nous cherchons à comprendre si le risque individuel de TMS est stable (statique) ou évolue avec le temps (dynamique). Si ce risque est dynamique, nous utiliserons des modèles existants issus des maladies infectieuses de type sérocatalytiques pour intégrer l'effet de l'âge et des tendances séculaires dans nos projections. Notre objectif est d'évaluer la pertinence et la faisabilité de ces modèles en utilisant des données de prévalence passées, afin de projeter les tendances futures des TMS.

### 6.2. Objectifs secondaires

Pour y parvenir, il a été décidé de décomposer cet objectif en deux parties :

- D'abord réaliser un état des connaissances sur la contribution de l'âge et du temps séculaire dans la survenue des TMS, afin de déterminer si le risque individuel de ces affections est statique ou dynamique. Pour cela, la première étape a consisté en une analyse de la distribution spatio-temporelle des TMS dans le monde entre 1990 et 2019 à l'aide des données du GBD. La deuxième étude consistait à collecter et analyser les preuves existantes sur l'influence respective de l'âge et du temps séculaire sur la survenue des TMS en effectuant une revue systématique de la littérature ;
- Puis modéliser l'évolution passée des TMS en explorant différentes hypothèses temporelles de survenue grâce à des modèles dynamiques généralement utilisés pour étudier les maladies infectieuses (modèles compartimentaux de type sérocatalytiques) que nous avons adaptés aux affections de durée variable. Une fois que les meilleurs modèles ont été sélectionnés, nous avons projeté l'évolution des TMS jusqu'en 2035 en fonction de l'âge et en prenant en compte l'évolution du temps séculaire.

## 7. Présentation succincte des données

La distribution spatio-temporelle des TMS dans le monde a été analysée entre 1990 et 2019 pour 204 pays sur la base des données du GBD chiffrées et standardisées par âge. Le détail de la méthode et des résultats de cette étude est décrit dans le chapitre 1. Les données issues de la littérature scientifique (PubMed, WebOfScience, ScienceDirect, Wiley, Medline) ont par ailleurs été utilisées pour la revue systématique de la littérature décrite dans le chapitre 2.

Les données utilisées pour explorer les différentes hypothèses d'évolution des tendances temporelles des TMS par le biais de modèles sérocatalytiques sont issues des enquêtes *LFS d'Eurostat*. Ces enquêtes européennes sont répétées chaque année selon des thématiques spécifiques. Dans le cadre de ce travail, nous avons sélectionné les années pour lesquelles les questions sur les TMS étaient mentionnées soit en 1999, 2007 et 2013. Le détail de la méthode et des résultats de cette étude est décrit dans le chapitre 4.

## **Chapitre 1**

Analyse de la distribution spatio-temporelle  
des troubles musculosquelettiques dans le  
monde de 1990 à 2019.

## 8. Synthèse de l'article

### 8.1. Justification d'une étude spatio-temporelle des TMS

Les TMS représentent un problème de santé mondial et plusieurs études ont été faites sur l'étiologie de ces pathologies. En 2016, le GBD a estimé que la lombalgie était la principale cause d'années vécues avec un handicap dans 160 pays (Blyth et al., 2019; Cieza et al., 2020). Malgré un nombre conséquent d'études sur ces pathologies, les résultats recensés sont principalement focalisés sur l'étude des facteurs de risques impliqués dans leur survenue sans prendre en compte leurs tendances temporelles. Par ailleurs la majorité des études, notamment sur les fractions de risques attribuables, sont issues des pays de l'hémisphère Nord. En ce sens, fournir une image détaillée du fardeau mondial actuel des TMS pour ensuite pouvoir anticiper leurs tendances futures probables est donc essentiel dans une démarche d'évaluation des besoins de prévention, de soins, et de gestion de dépenses de santé.

Plusieurs facteurs peuvent influencer la distribution spatiale et temporelle des TMS, comme les facteurs biomécaniques, psychosociaux ou environnementaux (Deeney & O'Sullivan, 2009; Hulshof et al., 2019). De plus, les estimations du fardeau des TMS sont probablement affectées par la sous-déclaration, qui elle-même peut être motivée par les capacités de diagnostic et des facteurs culturels, tels que les perceptions des TMS par les soignants et les patients (Harcombe et al., 2010; Jain et al., 2018; Roquelaure, 2018a). Par conséquent, les tendances de ces facteurs individuels, professionnels ou liés au diagnostic peuvent contribuer à la distribution temporelle et spatiale des TMS. L'âge constituant également un facteur de risque important dans la survenue des TMS, les variations globales des structures démographiques peuvent aussi affecter la répartition spatiale des TMS. De même, les tendances démographiques mondiales du vieillissement des populations peut également avoir un impact sur les tendances temporelles du fardeau des TMS (Schofield et al., 2008; United Nations et al., 2020). Évaluer la contribution de la démographie dans les tendances passées des TMS peut donc être pertinent pour anticiper leur survenue en considérant le vieillissement démographique des populations à l'échelle mondiale.

## 8.2. Objectifs de l'étude

Une vision globale des tendances géographiques et temporelles de l'occurrence des TMS fait donc toujours défaut. Cette étude vise à avoir une meilleure compréhension de la répartition spatio-temporelle des TMS dans le monde, entre 1990 et 2019, pour 204 pays et 21 territoires, à partir d'une analyse de l'étude GBD 2019.

## 8.3. Méthode

### 8.3.1. Justification du choix des données issues du GBD

Le GBD constitue à ce jour l'effort le plus important et le plus complet pour mesurer les niveaux et les tendances de la prévalence des maladies dans le monde (*The Lancet*, 2020). La méthode de recueil de données issue du GBD s'appuie sur : la base de réclamations, d'enquêtes sur la population générale, par panel sur les dépenses médicales (MEPS) et de l'institut de mesure et d'évaluation de la santé (IHME) (GBD, 2017, p. 9). Les données traitées comprennent des bases de données sur les réclamations médicales, des enquêtes auprès de la population générale et des diagnostics médicaux.

### 8.3.2. Définition des cas

La présente étude porte sur les TMS primaires pouvant être liés au travail. Nous avons donc exclu les TMS d'origine inflammatoire ou résultant d'une manifestation articulaire de maladies organiques (comme la goutte, le lupus, le psoriasis, certaines maladies infectieuses, etc.). Les définitions suivantes, basées sur deux types de collecte de données sur les TMS ont été incluses : la douleur auto-déclarée et l'arthrose diagnostiquée médicalement. Les deux types de TMS ont été analysés selon plusieurs sites distincts : i) douleurs du bas du dos, ii) douleurs du cou, iii) arthrose de la hanche, iv) arthrose du genou, v) arthrose de la main et vi) autre arthrose. Les douleurs du bas du dos, du cou et les ostéoarthroses ont été classées selon la Classification internationale des maladies (CIM-10). La catégorie « autre arthrose » représente la forme d'arthrite la plus courante, impliquant une inflammation chronique, une dégradation et une altération structurelle de l'articulation. Ici, le cas de référence était une ostéoarthrose symptomatique radiologiquement confirmée présente dans n'importe quelle articulation autre que celles de la main, de la hanche et du genou qui ont été traitées indépendamment (Smith et al., 2014; IHME, 2019). La collecte de données a couvert 204 pays et 21 sous-régions entre



1990 et 2019 (GBD, 2017, p. 9). Ces sous-régions ont ensuite été classées en 6 grandes régions : les Amériques, les Caraïbes, l'Europe, l'Océanie, l'Asie et l'Afrique. Nous avons sélectionné des tranches d'âge entre 20 et 70 ans afin de sélectionner une population en âge de travailler.

### 8.3.3. Répartition spatiale et temporelle de la prévalence des TMS dans les pays et territoires, 1990-2019

Pour chaque TMS étudié, nous avons cartographié la prévalence nationale brute et standardisée selon l'âge (matériel complémentaire S1 de l'article). Ensuite, nous avons analysé les tendances temporelles de la prévalence brute et normalisée selon l'âge des TMS, par sous-région et à l'échelle mondiale, en calculant la prévalence moyenne annuelle pondérée en fonction de la population. Les tendances temporelles de la prévalence brute et normalisée selon l'âge et le genre ont été analysées à l'aide des tests de tendance de Cochran-Armitage (CA).

### 8.3.4. Distribution de la prévalence des TMS compte tenu du niveau de revenu et de la densité médicale dans le monde

Nous avons par ailleurs testé l'hypothèse selon laquelle la prévalence des TMS au niveau national serait positivement corrélée avec le niveau de revenu national (pouvant saisir la structure du travail/de l'emploi et ensuite être utilisé comme indicateur approximatif de l'exposition professionnelle) et avec la densité médicale (pouvant saisir les capacités de diagnostic des TMS). Les niveaux de revenu national ont été mesurés à l'aide de la catégorie de revenu de la Banque mondiale fournie par le GBD, analysée comme une variable ordinale (pays à revenu élevé/moyen supérieur/moyen inférieur/faible) (GBD, 2017, p. 9). Les valeurs nationales de la densité médicale en 2017, exprimées en nombre de prestataires de soins de santé pour 1 000 habitants, ont été extraites de la base de données BIRD-IDA de la Banque mondiale (BIRD-IDA, 2017). Cette variable a été catégorisée en fonction des quartiles de sa distribution. L'effet indépendant du niveau de revenu et de la densité médicale a été exploré à l'aide d'une régression linéaire multivariée. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R (v 4.1.1).

## 8.4. Résumé des résultats

Dans cette étude, s'appuyant sur une analyse approfondie de 6 TMS d'origines primaires, nous avons décrit plusieurs schémas déterminant leur distribution spatiale et temporelle. Premièrement, nous avons observé de grandes variations géographiques dans la prévalence brute des TMS entre les sous-régions, avec une tendance des prévalences nettement plus élevée dans les pays à haut et moyen revenu. En effet, en 2019, les prévalences brutes mondiales des TMS variaient selon les pays de 0,56 % [IC à 95 % : 0,43-0,70] pour l'arthrose de la hanche à 8,62 % [IC à 95 % : 7,62-9,74] pour les lombalgies. Deuxièmement, nous avons observé que la prévalence des TMS augmentait de manière monotone avec l'âge, sauf pour les cervicalgies, qui plafonnaient ou diminuaient après 45-50 ans. Troisièmement, pour 5 des 6 TMS, les prévalences de TMS augmentaient indépendamment du genre, bien qu'elles étaient majoritairement plus élevées chez les femmes. Les prévalences étaient par ailleurs plus élevées dans les pays à revenu élevé ou intermédiaire pour les 6 TMS. Quatrièmement, à l'échelle mondiale, la prévalence brute des TMS a considérablement augmenté entre 1990 et 2019, avec quelques variations entre les sous-régions. Les tendances des prévalences brutes des douleurs lombaires et cervicales augmentaient de manière significative, alors qu'après contrôle sur l'âge, une majorité d'entre elles ne l'étaient plus. Pour les ostéoarthrites, la prise en compte de l'âge dans l'évaluation de leurs tendances temporelles ne génère pas totalement le même résultat puisque certaines d'entre elles, comme celle de la hanche et du genou, restent en augmentation significative ou proches de la significativité après ajustement sur l'âge. Enfin, les résultats des régressions linéaires multivariées ont montré que le niveau de revenu de la Banque mondiale et la densité médicale pour chaque pays étaient corrélés positivement avec les prévalences de TMS.

## 8.5. Discussion

Les tendances des douleurs semblent être principalement dues au vieillissement de la population car les prévalences standardisées selon l'âge n'évoluent plus de manière significative. Cependant, pour les ostéoarthrites, des variations subsistent malgré la prise en compte de l'âge et on observe une grande variété de prévalence entre les pays, suggérant que la démographie seule ne peut pas expliquer les disparités spatiales des TMS. L'association significative entre la prévalence des TMS, le niveau de revenu et la densité médicale suggère que les variétés d'emploi et les différences de capacités de diagnostic peuvent influencer les niveaux de prévalences. Par ailleurs, il est également intéressant de noter que les faibles valeurs de

prévalence dans les pays à faible revenu peuvent s'expliquer en partie par une probable sous-déclaration des TMS puisque dans ces pays, les priorités de recherche sont souvent orientées vers des pathologies ou des problèmes de santé nécessitant une action rapide (dénutrition, problèmes liés aux conflits géopolitiques, maladies infectieuses, décès liés au travail ou autre risque concurrentiel, etc.), alors que les pays à moyen et haut revenu peuvent aussi se focaliser sur des problématiques nécessitant une prévention sur le plus long terme (surnutrition, risques psychosociaux...). La santé mondiale au travail est importante pour tous les pays où ces facteurs sont pertinents. Une grande disparité de prévalence moyenne globale entre les sous-régions, toutes années confondues et selon le type de TMS a été observée. Ces grandes variations de prévalence ne s'expliquent pas uniquement par des différences démographiques, car de grandes différences de prévalence subsistent lorsque l'on considère la prévalence ajustée sur l'âge. Pour plus de détail sur les éléments de discussion et de résultats, la section 8 présente l'article dans sa totalité.

## 8.6. Conclusion

Les TMS sont parmi les maladies les plus fréquentes et les plus impactantes sur la qualité de vie des individus dans le monde. Globalement, il existe une grande variation de prévalence entre les pays et si le TMS étudié est lié à la douleur ou à l'arthrose. Le fardeau des TMS augmente globalement dans le monde, en particulier pour l'arthrose. Alors que le vieillissement de la population mondiale s'accélère, cette tendance temporelle devrait se poursuivre (Safiri et al., 2020). La prévalence des lombalgies est de loin la plus répandue au monde, quelles que soient les années et les lieux géographiques étudiés. Une grande diversité de prévalence est également observée entre les TMS et entre les régions. Au fil du temps, les variations des TMS augmentent de manière écrasante, la plupart d'entre elles étant expliquées par l'âge, en particulier pour les lombalgies et les cervicalgies. La démographie ne semble pas être le seul indicateur à considérer dans ces variations puisque, par exemple, les différences de prévalence observées par pays en 2019 ont mis en évidence que pour l'ensemble des TMS, les prévalences sont beaucoup plus élevées pour les pays du Nord par rapport aux pays du Sud. En ce sens, il a également été montré que les niveaux de revenus et les densités médicales par région étaient significativement corrélés à la prévalence observée. Pour réduire le fardeau de ces TMS, qui tend à augmenter considérablement, il est important de continuer à mettre en place une surveillance étendue, et d'affiner les méthodes de collecte en facilitant l'accès aux données sur

un type plus large de TMS (Smith et al., 2014). Des données longitudinales exhaustives sur un panel plus important de TMS et des facteurs pertinents, prenant en compte les expositions professionnelles dans le temps, permettraient de mieux comprendre leur évolution et de développer des politiques efficaces de prise en charge et de prévention de ces maladies (Hoy et al., 2014; Briggs et al., 2018).

## 9. Article

Article en cours de révision dans *Occupational and Environmental Medicine* – BMJ.

### **The spatio-temporal distribution of musculoskeletal disorders: results of the Global Burden of Disease in 204 countries and 21 subregions between 1990 and 2019.**

Hanifa Bouziri<sup>1\*</sup>, Yves Roquelaure, Alexis Descatha<sup>4</sup>, William Dab<sup>1</sup>, Kévin Jean<sup>1,5</sup>

1. *Laboratory of Modeling epidemiology and surveillance of health risks (MESuRS), in the French National Institute for Science, Technology, and Craft (Cnam), Paris, France.*
2. *Inserm, EHESP, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail) – UMR\_S 1085, Univ Angers, Univ Rennes, 28 Roger Amsler, CS 74521, 49045, Angers Cedex 01, France*
3. *MRC Centre for Global Infectious Disease Analysis Imperial College London, United Kingdom.*

\*Correspondence: [hanifa.bouziri@lecnam.net](mailto:hanifa.bouziri@lecnam.net)

#### **Abstract:**

##### **Objectives**

Musculoskeletal disorders (MSD) represent the main contributor to disability worldwide. However, a global view of the temporal trend of MSD remains lacking. This study aimed to assess the spatio-temporal distribution of MSD from 1990 to 2019.

##### **Methods**

We used data from the 2019 Global Burden of Diseases (GBD) to analyse the prevalence of 6 MSD of primary origins defined medically or self-reported pain, over the target period by sub-region, age, and sex. We mapped raw and age-standardized prevalence in over 204 countries. Then we assessed temporal trends in prevalence using Cochran-Armitage trend tests (CA).

##### **Results**

In 2019, global raw prevalences of 6 MSD of primary origins, ranged from 0.56% [95% CI: 0.43-0.70] for hip osteoarthritis to 8.62% [95% CI: 7.62-9.74] for low back pain, with large variations across countries. The prevalence of MSD increased monotonically with age, except for neck pain which increases then remains stable or decreases after 45-50 years old. Although the prevalence for all sub-regions, increased with age, they were higher for women. Prevalences were higher in high vs. middle-income countries for all MSD. Over time, in most sub-regions, trends of MSD prevalences increased significantly. After controlling for age, back and neck pain was no longer significant, while for osteoarthritis half of the sub-regions remained significant.

##### **Conclusion**

The ageing of the population presumably drives the growing burden of MSD over time on a global scale, although other factors must be considered. Longitudinal data on a larger panel of MSD, considering occupational exposures over time, would allow better prevention.

##### **Key terms**

Epidemiology; chronic disease; musculoskeletal pain; occupational health; temporal trend.

##### **Word count of the manuscript**

3499 words excluding title page, abstract, references, figures, and tables

### **What is already known?**

- Musculoskeletal disorders (MSD) are among the most disabling chronic non-communicable pathologies at work worldwide
- However, there has been limited efforts to finely describe their distribution, especially beyond western countries
- As age represents an important risk factor of MSD, trends and changes in demographics structures may partly explain the temporal and geographical distribution of 6 MSD of primary origins.

### **What are the new findings?**

- We used data from the 2019 Global Burden of Diseases (GBD) to analyse the crude and age-standardized prevalence of 6 MSD of primary origins over the 1990-2019 period by sub-regions, age, and sex.
- We report a great diversity of prevalence between MSD and regions; however, the prevalence of low back pain is by far the most widespread in the world
- The MSD prevalence were higher in women in almost all sub-region
- Globally, the raw prevalence of MSD has significantly increased between 1990 and 2019. This increasing trend is likely to be mainly driven by the ageing of the population.
- Demographics only cannot explain spatial disparities in MSD prevalence. Income level and medical density are independently associated with a higher prevalence of MSD, suggesting that both labour landscape and diagnostic capacities may affect the local levels of prevalence.

### **What do the new findings imply?**

- A better understanding of these pathologies is becoming more and more urgent in a context of aging of the active population and a high probability of MSD increasing is expected in the years to come.

## **Introduction:**

Musculoskeletal disorders (MSD) are among the most common conditions worldwide, affecting 1.71 billion people in 2020. MSD includes approximately 150 distinct conditions and can affect people's quality of life, healthcare costs, and work efficiency [1]. Beyond health issues, MSD may generate considerable productivity loss. In 2010, it has been estimated that 39.2% of European workers suffered from chronic pain and therefore could not work to their full capacity [2]. Despite the widespread perception of a Northern country-specific issue, MSD represent a global health concern. In 2016, the Global Burden of Disease (GBD) estimated that low back pain (LBP) was the main cause of years lived with a disability in 160 countries [3, 4]. Providing a detailed picture of the current global burden of MSD, and anticipating their likely future trends is thus key to assessing the needs of prevention and care, as well as health expenses. However, evidence of past and current trends in the occurrence of MSD comes primarily from high-income countries, while evidence in the Global South remains scarce [5].

Several factors may drive the spatial and temporal distribution of MSD. First, several risk factors for MSD have been consistently identified, including occupational exposures such as biomechanical or psychosocial factors [6-7]. Moreover, estimates of MSD burden are likely affected by under-report, which itself may be driven by diagnostic capacities and cultural factors, such as perceptions of MSD by caregivers and patients [7-9]. Therefore, trends in these individual, occupational, or diagnostic-related factors may contribute to the temporal and spatial distribution of MSD. Age also constitutes a strong risk factor for MSD. Among the working population, the MSD incidence is globally higher in people over 50 years [10-11]. Thus, the global variations in demographic structures may also affect the spatial distribution of MSD. Similarly, the global demographic trend of ageing populations may also impacted the temporal trends in the burden of MSD [12-13]. Assessing the contribution of demography in MSD' past trends may thus be insightful to anticipate their fate regarding projected further population ageing.

A global view of the geographic and temporal trends in the MSD occurrence remains lacking. This study aims to understand the spatio-temporal distribution of MSD around the world, between 1990 and 2019, for 204 countries and 21 territories, based on an analysis of the GBD 2019 study.

## **Method**

### **The GBD 2019 study**

The GBD constitutes the largest and most comprehensive effort to date to measure levels and trends in disease prevalence worldwide.[14] It is conducted by the Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). The data processed includes medical claims databases, general population surveys, and medical diagnostics [15]. We accessed 1990 to 2019 GBD data at: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/> [16].

### **Case definition**

The present study focuses on primary MSD that can be work-related. Therefore, we excluded MSD from inflammatory origin or resulting from a joint manifestation of organic diseases (such as gout, lupus, psoriasis, certain infectious diseases, etc.). We thus included the following definitions, based on two types of MSD data collection: self-reported pain and medically diagnosed osteoarthritis. Both were used for distinct sites: i) low-back pain, ii) neck pain, iii) hip osteoarthritis, iv) knee osteoarthritis, v) hand osteoarthritis, and vi) other osteoarthritis.

Low back pain (LBP), neck pain (NP), and osteoarthritis (OA) were classified according to the International Classification of Diseases (ICD-10). The “other osteoarthritis” category represents the most common form of arthritis, involving chronic inflammation, breakdown, and structural alteration of the joint. Here, the reference case was radiographically confirmed, symptomatic OA present in any joint other than those of the hand, hip and knee that were treated independently [17-19].

Data collection covered 204 countries and 21 sub-regions between 1990 and 2019 [16]. These subregions were further classified into 6 larger regions: the Americas, the Caribbean, Europe, Oceania, Asia, and Africa. We selected age groups between 20 and 70 years old to best reflect people of working age.

#### **Spatial and temporal distribution of the prevalence of MSD across countries and territories, 1990-2019**

For each MSD studied, we mapped national raw and age-standardized prevalence (supplementary materials S1). Then we analysed temporal trends of raw and age-standardized prevalence of MSD, by sub-regions and globally, by computing annual population-weighted average prevalence with the corresponding 95% confidence interval (95% CI). Temporal trends in raw and age-standardized prevalence were tested using Cochran-Armitage (CA) trend tests. Analyses were conducted on both males and females first and then stratified by sex.

#### **The distribution of the prevalence of MSD considering the income level and medical density worldwide**

We hypothesized that country-level prevalence of MSD was positively correlated with national income level, which may capture the labour/employment structure and then be used as a rough proxy for occupational exposure, and with medical density, which may capture MSD diagnostic capacities.

National income levels were measured using the World Bank income category provided by the GBD, analysed as an ordinal variable (high-/upper-middle-/lower-middle-/low-income country) [16]. The national 2017 values of medical density, expressed as the number of healthcare providers per 1,000 inhabitants extracted from the World Bank's BIRD - IDA database [20]. This variable was categorized based on the quartiles of its distribution. The independent effect of income level and medical density was explored using multivariate linear regression. All analyses were conducted using the R software (v 4.1.1).



## Results

### Spatial and temporal distribution of the prevalence of MSD by worldwide countries and territories between 1990 and 2019

In 2019, globally, the raw prevalence mean of MSD were 0.46% [95% confidence interval, CI: 0.35-0.58] for hip OA, 1.71% [95% CI: 1.27-2.29] for hand OA, 2.34% [95% CI: 1.84-2.98] for neck pain, 4.34% [95% CI: 3.71-5.02] for knee OA and 8.22% [95% CI: 7.21-9.35] for low back pain. Country-specific prevalence ranged from 0.04% [95% CI: 0.02-0.05] for hand OA in Timor-Leste to 18.9% [95% CI: 16.7-21.4] for LBP in Japan, with important variations across MSD and regions (**S2**). Among the 6 MSD analysed, lower levels of prevalence were consistently observed for sub-Saharan Africa.

The higher overall average prevalence (%) per sub-regions all year combined was observed in **figure 1**. They varied between 0.09% [95% CI: 0.06-0.13] for hand OA in Southeast Asia and 15.8% [95% CI: 14.6-17.3] for low back in High-income North America. The lowest overall prevalences (%) per sub-regions all year combined were for the LBP in Eastern Sub-Saharan Africa at 3.9% [95% CI: 3.4-4.4], for NP in Central Sub-Saharan Africa at 0.7% [95% CI: 0.5-0.9], for hip OA in Eastern Sub-Saharan Africa at 0.1% [95% CI: 0.09-0.15], knee OA in Eastern Sub-Saharan Africa at 1.4% [95% CI: 1.1-1.6] and the hand OA in Southeast Asia at 0.09% [95% CI: 0.06-0.13]. The highest overall prevalences (%) per sub-regions all year combined were for NP in Western Europe at 4.7% [95% CI: 3.8-5.8], hip OA in Western Europe at 1.2% [95% CI: 0.9-1.6], knee OA in High-income Asia Pacific at 9.7% [95% CI: 8.5-11.0] and for the hand OA in Eastern Europe at 7.2% [95% CI: 5.5-9.4]. It has mainly been observed that the overall average prevalence for all years combined is higher in high-income countries for LBP, hip, knee, and other OA. For overall prevalence, in all years combined, NP and hand OA were higher in high- and middle-income countries (**Figure 1**).

Globally, the prevalences of LBP, hip/hand OA and other OA increase with age in both males and females (**Figure 2**). The 2019 age-specific prevalence of neck and knee OA increased, then peaked around age 45 for NP and 55 for knee OA. Although absolute levels varied, the shapes of the sex-specific age distributions were similar across sub-regions. Prevalences were higher in women, except for hip OA in Southern Sub-Saharan Africa and other OA which prevalence was higher in men.

Over time, more than half of the raw prevalence of pain increase significantly, whereas after age standardization the trends were mostly not significant except for 4 pain trends that were decreasing: 3 for LBP in Australasia, East Asia, and South Asia and 1 for NP in high-income North America (**Table 1**). As observed for LBP and NP, most of the osteoarthritis was explained by demographics, for hand and other OA. However, unlike LBP and NP, nearly half of the increasing trends remained so after age-standardization for hip OA (13/22 significant or near-significant increase) and knee OA (6/22 significant increase or near-significant increase).

To compare temporal trends in MSD prevalences by sex, a total of 252 CA trend tests were performed for age-standardized prevalence. Among these tests, differences were observed (**supplementary material S4 and S5**) for 21 sub-regions. For LBP, 3 different temporal trends were highlighted when considering age: in Australasia, the trends are stable for women and decrease significantly in men; in East Asia and South Asia, trends increase significantly for women and decrease significantly for men. There are no differences in time trends of age-standardized MSD for NP. For hip OA, 8 temporal trends differences were observed between women and men: in Andean Latin America, Southern Latin America, High-income North America, Tropical Latin America, Australasia, and Southeast Asia, stable trends for women and increasing trends for men were highlighted, while for East Asia and South Asia decrease was observed in women and an increase was observed in men. For knee OA, 5 temporal trends in the prevalence of MSD considering age were noticed: in Central Latin America, Tropical Latin America, Caribbean, and Southern Sub-Saharan Africa, the trends were stable for women and increased in men, while in South Asia the opposite was seen. Finally, for hand OA, 2 differences in trends were observed: in Eastern Europe, the trends were stable in women and decreased in men, while for High-income Asia Pacific, in women the trends increased while in men were stable.

#### **The distribution of the prevalence of MSD considering the World Bank incomes and the medical density worldwide**

We observed a positive association between the prevalence of MSD, for the World Bank income level, and for, medical density (**Figure 3**). In multivariate regressions, both variables were independently positively associated with the prevalence, for each of the 6 MSD (**S6**).

### **Discussion**

In this study, relying on an extensive analysis of 6 MSD of primary origins, we describe several patterns driving their spatial and temporal distribution. First, we observed large geographical variations in the raw prevalence of MSD across sub-regions, with a constant trend toward higher prevalence in high-income countries. Second, we observed that the prevalence of MSD increases monotonically with age, except for neck pain, which plateaus or decreases after 45-50 years old. Third, we report that for 5 out of the 6 MSD we studied, women were more affected than men, constantly across sub-regions. Fourth, we document that globally, the raw prevalence of MSD has significantly increased between 1990 and 2019, with some variations across sub-regions. This increasing trend is likely to be mainly driven by the ageing of the population, as age-standardized prevalence did not significantly change over time. Fifth, when studying the drivers of the spatial distribution of MSD, we observed that large variations remain in prevalence levels when controlling for age, suggesting that demographics only cannot explain spatial disparities in MSD prevalence. Sub-regional levels of income level and medical density were independently associated with a higher prevalence of MSD, suggesting that both labour landscape and diagnostic capacities may affect the local levels of prevalence. Furthermore, it is also interesting to note that the low prevalence values in low-income countries can be partly explained by a probable under-reporting of MSD since in these countries, research priorities are often directed towards pathologies or health problems requiring rapid

action (undernutrition, problems related to geopolitical conflicts, infectious diseases, work-related death or other competitive risk etc.), whereas high income is more on long action (overnutrition, psychosocial ...).

A great disparity in overall average prevalence between the sub-regions, all years combined, depending on the MSD has been observed. For LBP the difference is a factor of 4, with 3.9% prevalence in Eastern Sub-Saharan Africa and 15.8% prevalence in high-income North America. For NP, the prevalence in Western Europe (4.7%) is more than 6 times higher than the prevalence in Central Sub-Saharan Africa (0.72%). For hip OA, in Central and Eastern Sub-Saharan the prevalence is 0.12% which is 10 times lower than for Western Europe which has a prevalence of 1.2%. The range between the highest and lowest prevalence for knee OA is more than 7, with a prevalence of 1.3% for Eastern Sub-Saharan Africa and a prevalence of 9.7% for the High-income Asia Pacific. Finally, the prevalence of High-income Asia Pacific at 7.2% is about 80 times higher than for Southeast Asia, which has an overall average prevalence for all years combined of 0.09%. These large variations in prevalence are not solely explained by differences in demography, as large prevalence differences remain while considering age-adjusted prevalence.

This study showed that the most widely high prevalence is attributable to LBP, which corroborates previous results from a study published in 2014 [21]. The raw prevalence of MSD increased between 1990 and 2019 in a large majority of sub-regions of the world, but most of the pains were explained after considering the age factor, while there were still persistent increases for hip, knee, and other OA. Depending on the type of MSD, demographic seems, therefore, to explain a large majority of temporal changes in pain, but it is not enough to properly understand and apprehend its geographic distribution. Another interesting point is that when observing the prevalence of MSD for 2019 by sub-region, sex, and age, most of the prevalence was increasing with the age, and at a higher level for women. This higher prevalence in women may be due to several reasons: differential exposures; interactions between exposures and gender; effect modification due to male/ female social roles, genetics, psychology and physiology; differential pain experience, reporting or care-seeking [22]. These results improved our understanding of temporal trends in MSD, suggesting notably that the overall average prevalence of MSD will globally increase over time. Furthermore, in regions where overall income and medical density are lower, the burden of MSD was ranked lower, probably due to a lack of means and accessibility to diagnosis. Added to this is the fact that in recent years, the ageing of the world population has been observed, which implies that a considerable number of people living with MSD is expected in the decades to come to [23].

Large disparities in prevalence between countries have been highlighted, especially a marked distinction between the South and the North countries, with higher prevalence in the latter. After age standardization, OA increase can be explained by the potential underdiagnosis of patients who do not necessarily report their pain because they consider it sufficiently low. In addition, differences in prevalence can be explained by specific characteristics of the populations, not only by the age pyramids but also by obesity [24], biomechanical and psychological exposures [7], ergonomics of the workstation and /or the tools used at work [25], or even cultural factors in the diagnosis of patients [26]. These aspects mean that the sensitivity and specificity of the indicators observed undoubtedly vary geographically due to the diversity of the characteristics of the countries and the profiles of the populations. Among these variations, we can count the differences in definitions, in national income, reflecting the structure

of employment and acting in part on cultural factors and pain tolerance, or even variations in medical density which may be used as an indicator of diagnostic capability and probability of detection [5]. Moreover, country treatment arsenal may also indirectly drive the country diagnostic capacity. Another point to consider is the probable improvement in the sensitivity of diagnostic tools and knowledge of these pathologies in North countries. Given these results, the low prevalence in middle- or low-income countries could see their values increase considerably given the rise in the level of income per country over time and therefore potentially in medical density and accessibility to care.

The variations in the occurrence of MSD depending on the country can also be explained by the evolution of professions and the predominance of certain sectors according to gender, age, and social categories, or the evolution of occupational exposure [27]. Several examples can be cited such as construction or transport trades mainly occupied by men vs cashiers, caregivers, and housekeepers mainly occupied by women [28-29]. We must therefore consider several opposing factors that can considerably influence the occurrence of MSD. For example, protective factors such as better knowledge of these pathologies with increasingly effective diagnostic and prevention efforts must be considered as much as the known and emerging risk factors. Among the risk factors that will probably increase, we can cite the evolution and emergence of certain professions requiring increasingly rapid activity leading to high stress and sometimes non-optimal postural and ergonomic conditions, with different level of risk factors [30- 33]. Finally, even if most MSD do not directly lead to death, the state of health is often being considerably degraded. Indeed, these pathologies can play a role in premature mortality by inducing joint effects with other pathologies, for example by making their diagnosis more difficult [3, 34-35].

Despite the strength of the study, the GBD data present certain limitations that must be considered in the interpretations for multiple reasons. First, the GBD estimates rely on various sources of data in which quality may differ across countries. Second, it happens that for certain countries where the data was incomplete, calibration was used on neighbouring countries (mainly observed for African countries) [5]. Furthermore, this study does not allow to distinguish whether the differences in prevalence observed according to the MSD and the geographical location of the individuals are due to differences in risk which depend on the characteristics between the regions, such as genetic factors, or whether these differences in prevalence are due to variation in occupational or environmental exposure factors.

This work presents other limitations that could explain an underestimation of the prevalence and the real burden of MSD over time [3, 36]. Case definitions for MSD are not universally standardized in population studies, making analysis sometimes less precise, especially for different incomes by region [37]. Large-scale population studies on the 150 musculoskeletal conditions are very difficult to set up due to the exhaustiveness of the pathologies making the setting up of field studies very expensive [1, 34]. Throughout a person's lifetime, there can be a wide variation in the likelihood of a condition, and reporting of pain resulting from highly variable musculoskeletal diseases makes diagnosis sometimes difficult, especially in low-income areas with low medical density.

## **Conclusion**

MSD are among the most frequent diseases and the most impactful on the quality of life of individuals worldwide. Globally, there is a large variation of prevalence between countries and whether the MSD studied is related to pain or OA. The burden of MSD is mostly increasing worldwide, with a great diversity of prevalence between sub-regions. As the ageing of the global population is rising, this temporal trend is expected to continue [38]. The prevalence of lower back pain is by far the most widespread in the world, regardless of the years and geographical locations studied. Over time, the variations in MSD are overwhelmingly increasing, with most of these increases explained by age, particularly for LBP and NP. Demography does not seem to be the only indicator to consider in these variations since, for example, the differences in prevalence observed by country in 2019 highlighted that for all MSD, prevalences are much higher for the North countries compared to the South countries. In this sense, it has also been shown that income levels and medical densities by region were significantly correlated with observed prevalence. To reduce the burden of these MSD, which is tending to increase considerably, it is important to continue to set up broad surveillance, and to refine the collection methods by facilitating access to data on a wider type of MSD [36]. Exhaustive longitudinal data on a larger panel of MSD and relevant factors, taking into account occupational exposures over time, would allow to better understand their evolution and to develop efficient policies for the management and prevention of these diseases [34, 39].

### **Fundings**

The French National Institute for Science, Technology, and Craft (Cnam) grant and the Health and Companies Chair (Cnam, Malakoff Humanis).

### **Acknowledgments**

The authors are responsible for the opinions expressed in this article, and they do not necessarily represent the views, decisions, or policies of the institutions with which they are affiliated. The authors declare no competing interests and acknowledge funding from the Cnam-Malakoff Humanis “Health and Companies” Chair. The funder has no role in the study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

### **Contributor statements**

K.J, W.D and H.B designed the project. K.J and W.D directed the project. A.D and Y.R helped for the orientation of the project problematic. H.B extracted and analysed the GBD data. K.J doubled proof the results. A.D and Y.R brought their expertise in ergonomics and MSD epidemiology to the interpretation of the results. H.B wrote the manuscript verified by K.J and W.D and in consultation with A.D and Y.R.



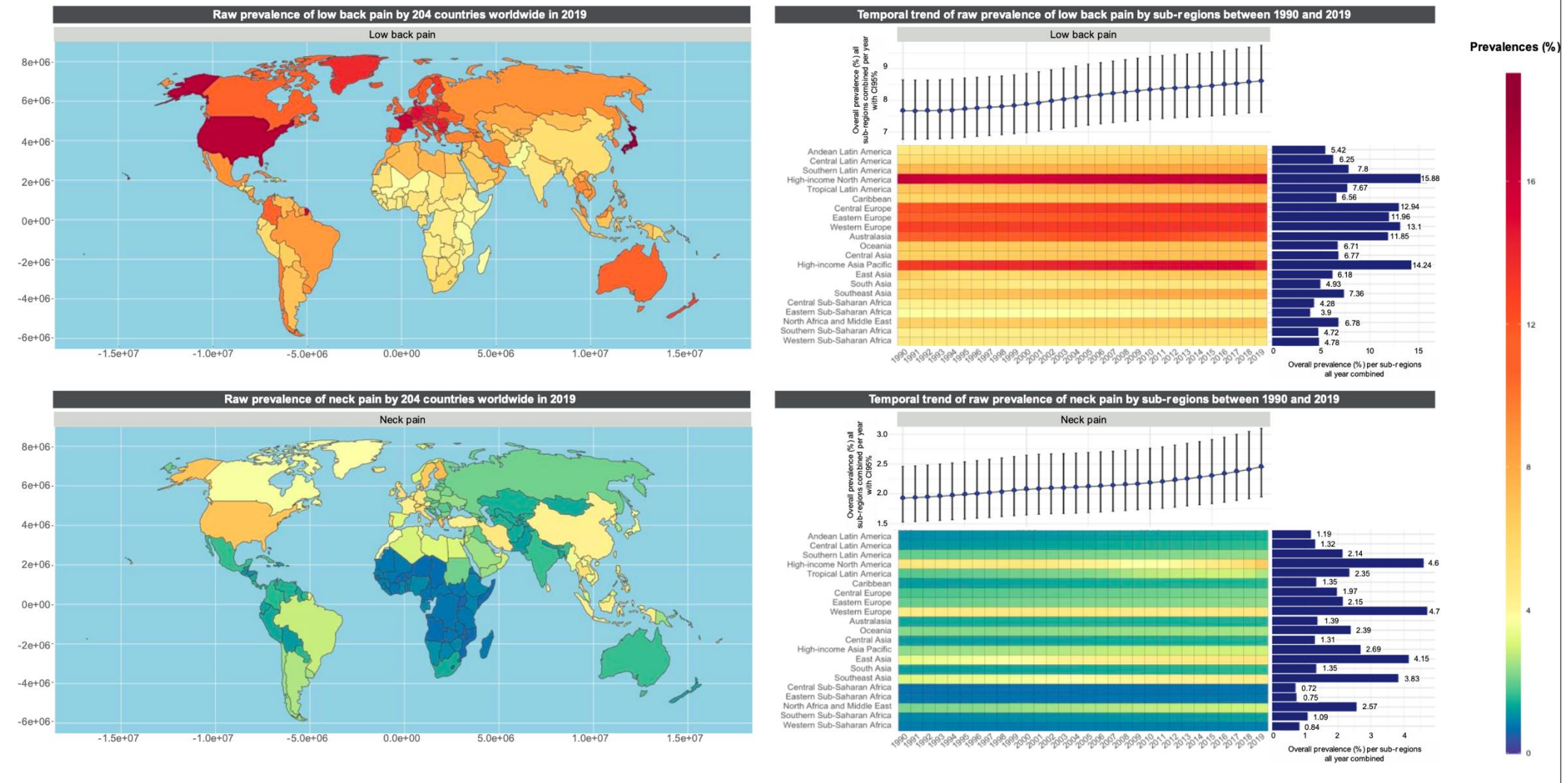
**Table 1:** Cochran-Armitage trend tests on the raw and age-standardized prevalence of MSD between 1990 and 2019, by regions and sub-regions in both sexes.

TYPE OF MSD		PAIN				OSTEOARTHRITIS								
		LOW BACK		NECK		HIP		KNEE		HAND		OTHER		
		Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	
REGIONS	AMERICA	Andean Latin America	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Central Latin America	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Southern Latin America	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		High-income North America	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Tropical Latin America	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
	EUROPE	Caribbean	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Central Europe	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Eastern Europe	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
	ASIA	Western Europe	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Australasia	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Oceania	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Central Asia	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		High-income Asia Pacific	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
	AFRICA	East Asia	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		South Asia	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Southeast Asia	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Central Sub-Saharan Africa	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
		Eastern Sub-Saharan Africa	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std
	GLOBAL REGIONS		Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std	Raw	Age-std

**Legends:**

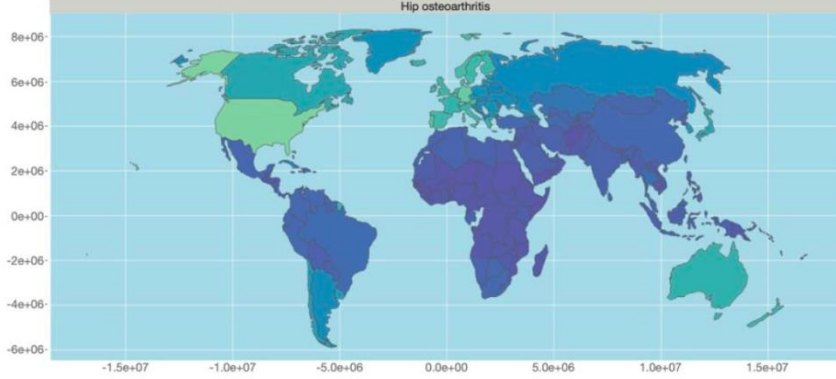
- Increase, p-value < 0.05
- Decrease, p-value < 0.05
- Increase, p-value < 0.1
- Decrease, p-value < 0.1

**Figure 1.** Spatial and temporal distribution of the raw prevalence of MSD worldwide by 204 countries and 21 sub-regions between 1990 and 2019.

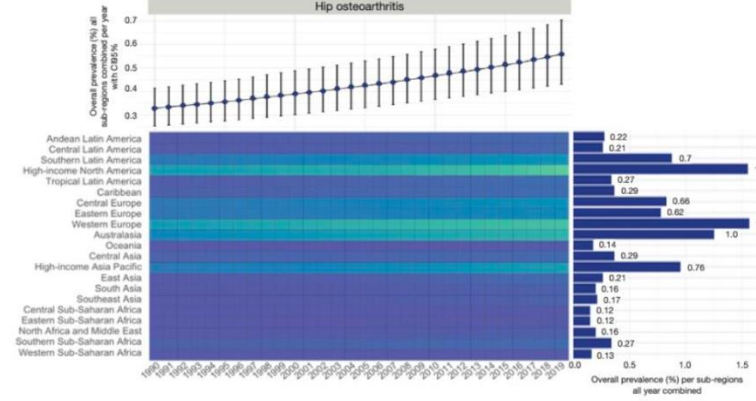




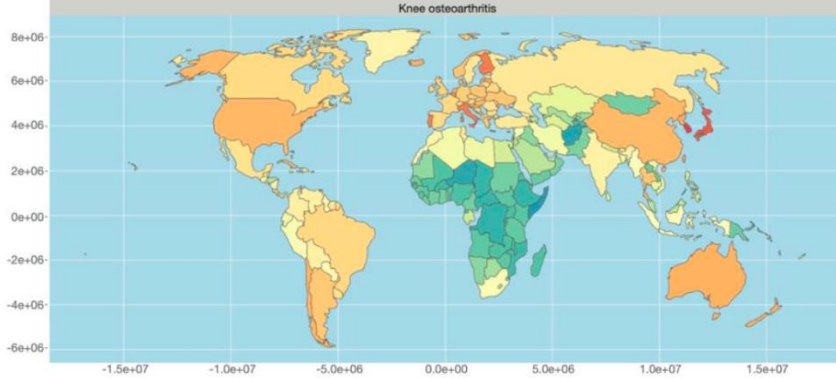
Raw prevalence of hip osteoarthritis by 204 countries worldwide in 2019



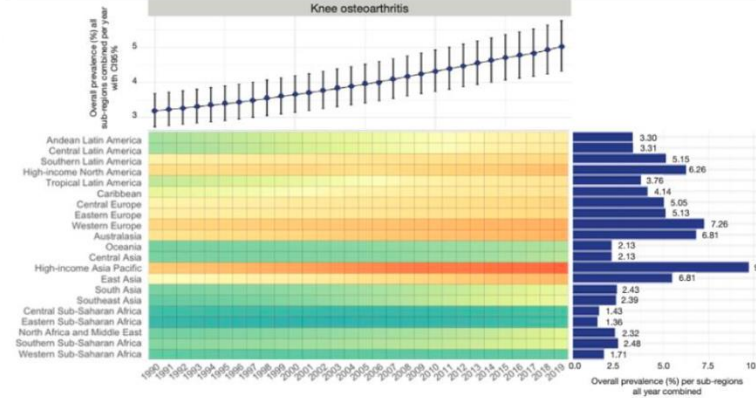
Temporal trend of raw prevalence of hip osteoarthritis by sub-regions between 1990 and 2019



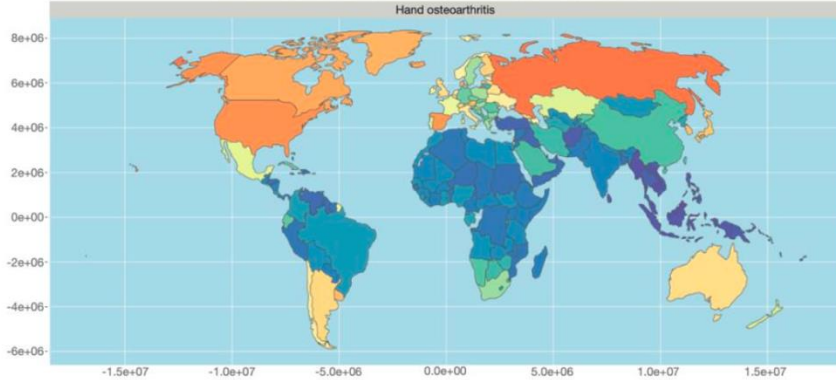
Raw prevalence of knee osteoarthritis by 204 countries worldwide in 2019



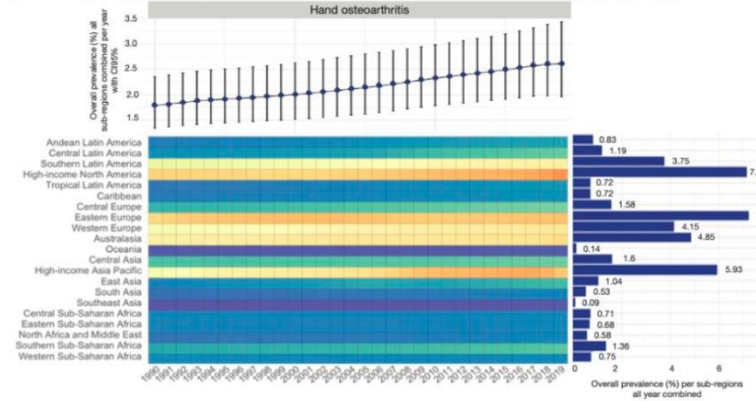
Temporal trend of raw prevalence of knee osteoarthritis by sub-regions between 1990 and 2019

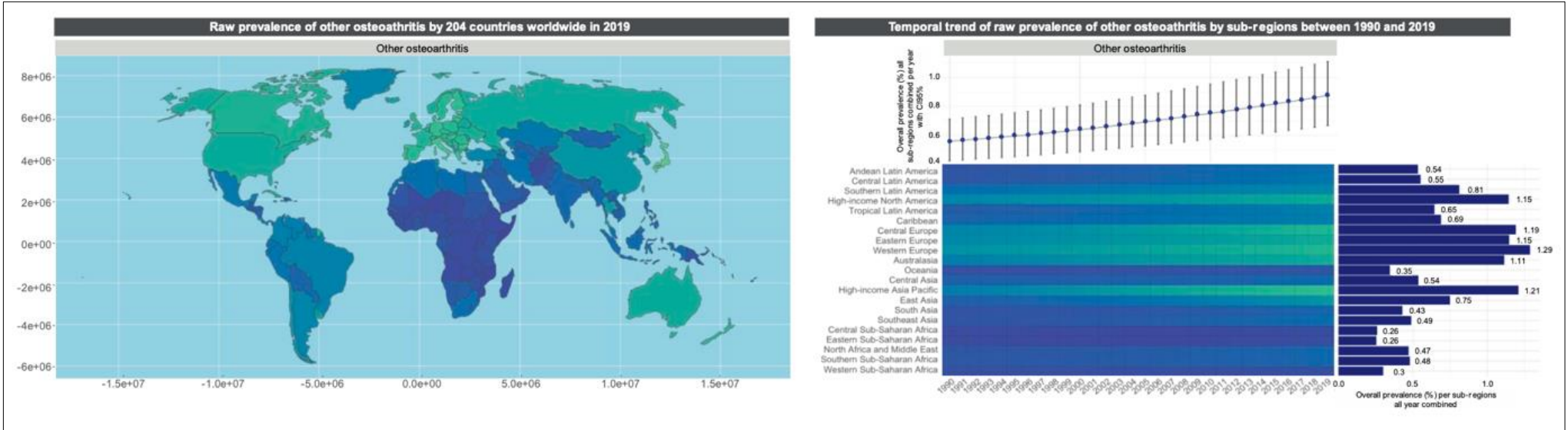


Raw prevalence of hand osteoarthritis by 204 countries worldwide in 2019



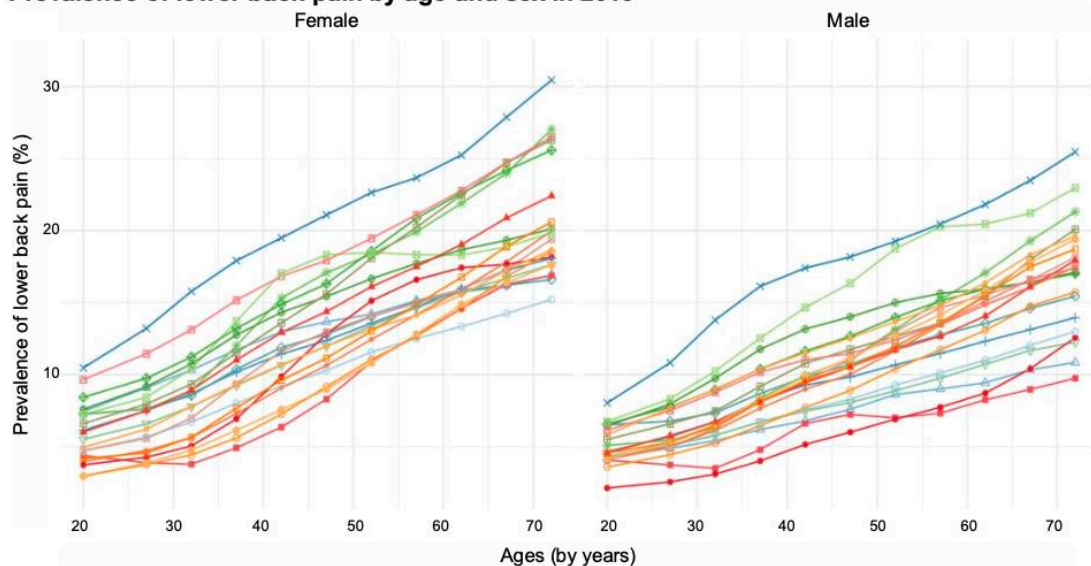
Temporal trend of raw prevalence of hand osteoarthritis by sub-regions between 1990 and 2019





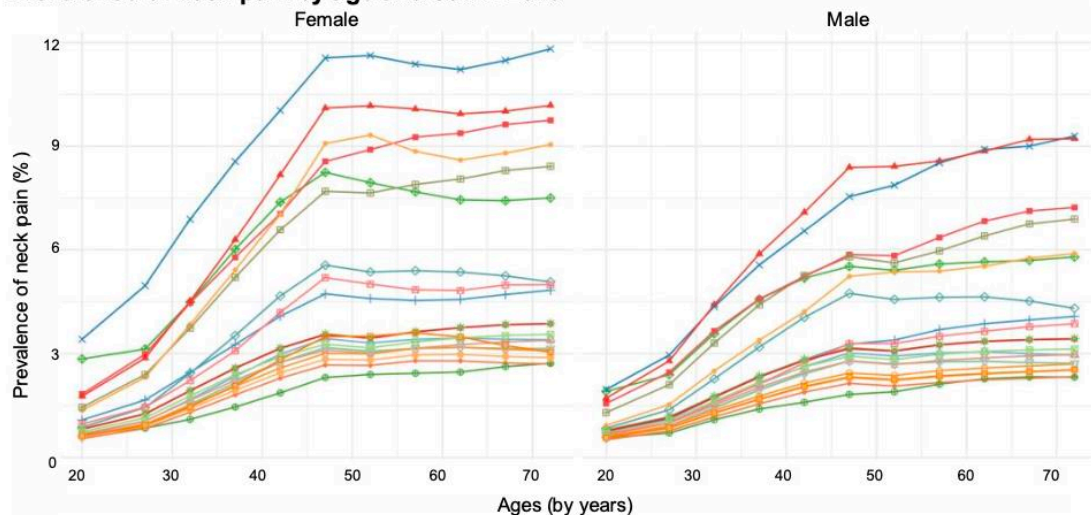
**Figure 2: Prevalence of MSD worldwide by sub-regions, age and sex for 2019.**

**Prevalence of lower back pain by age and sex in 2019**

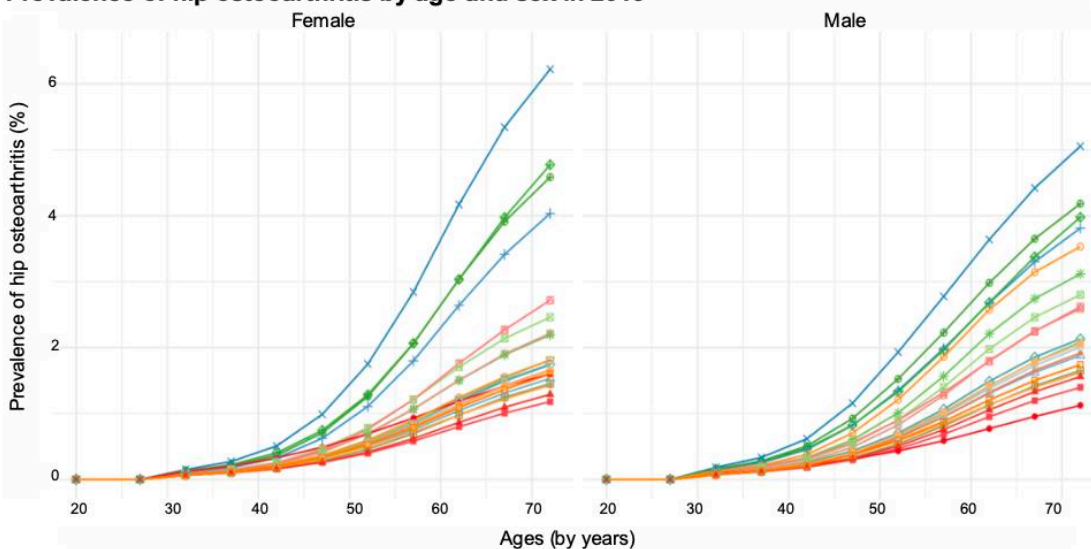


- Regions:**
- Andean Latin America
  - △— Central Latin America
  - +— Southern Latin America
  - x— High-income North America
  - ◇— Tropical Latin America
  - ▽— Caribbean
  - Central Europe
  - \*— Eastern Europe
  - ◇— Western Europe
  - Australasia
  - Oceania
  - Central Asia
  - ◇— High-income Asia Pacific
  - East Asia
  - South Asia
  - ▲— Southeast Asia
  - Central Sub-Saharan Africa
  - Eastern Sub-Saharan Africa
  - North Africa and Middle East
  - Southern Sub-Saharan Africa

**Prevalence of neck pain by age and sex in 2019**

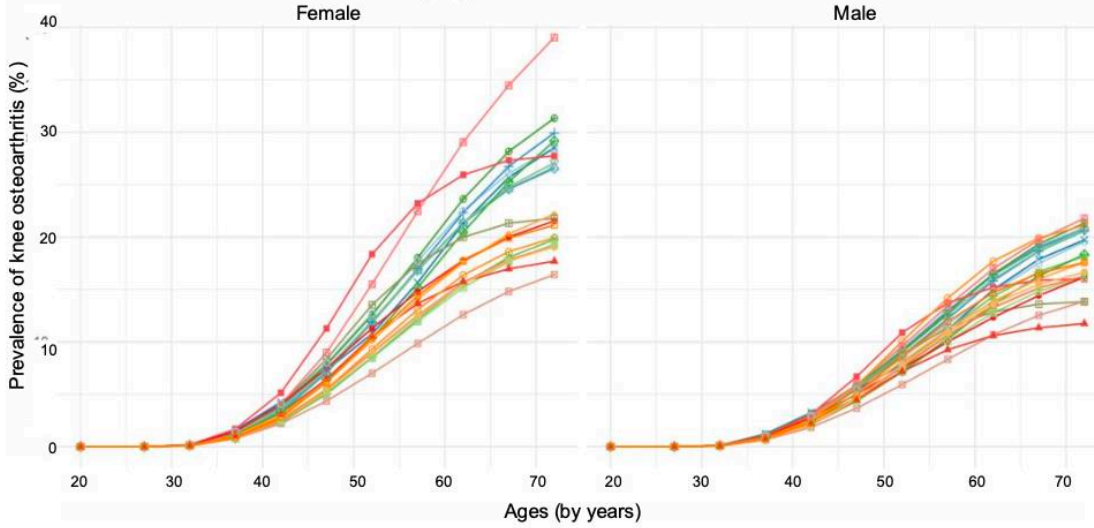


**Prevalence of hip osteoarthritis by age and sex in 2019**



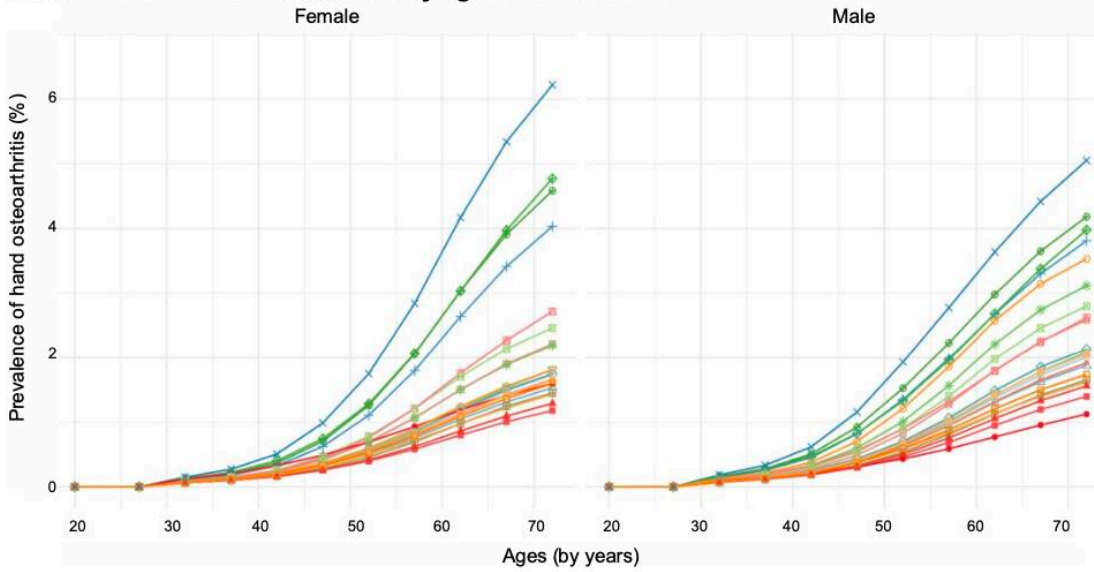


### Prevalence of knee osteoarthritis by age and sex in 2019

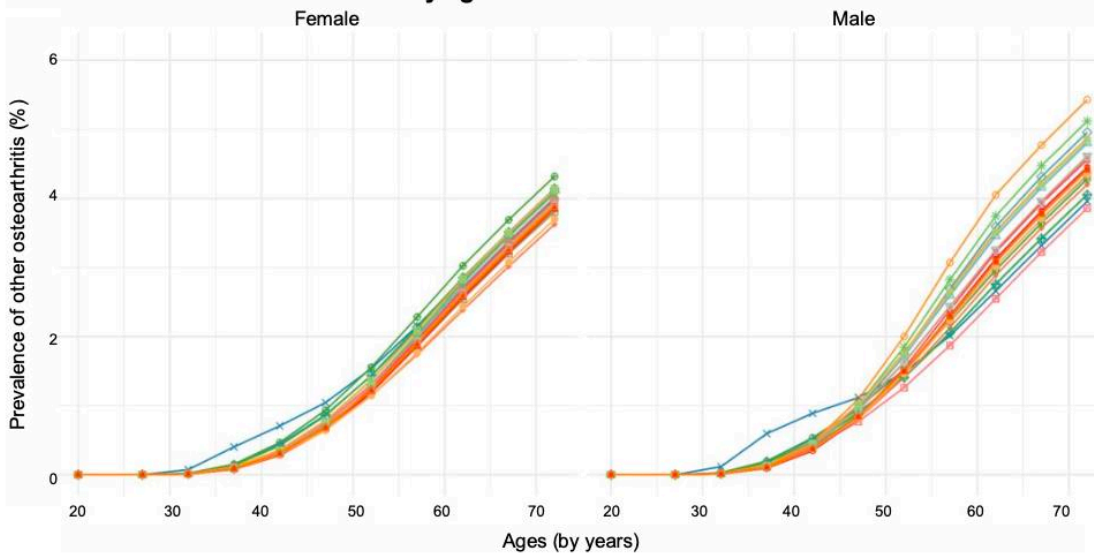


- Regions:**
- Andean Latin America
  - Central Latin America
  - Southern Latin America
  - High-income North America
  - Tropical Latin America
  - Caribbean
  - Central Europe
  - Eastern Europe
  - Western Europe
  - Australasia
  - Oceania
  - Central Asia
  - High-income Asia Pacific
  - East Asia
  - South Asia
  - Southeast Asia
  - Central Sub-Saharan Africa
  - Eastern Sub-Saharan Africa
  - North Africa and Middle East
  - Southern Sub-Saharan Africa

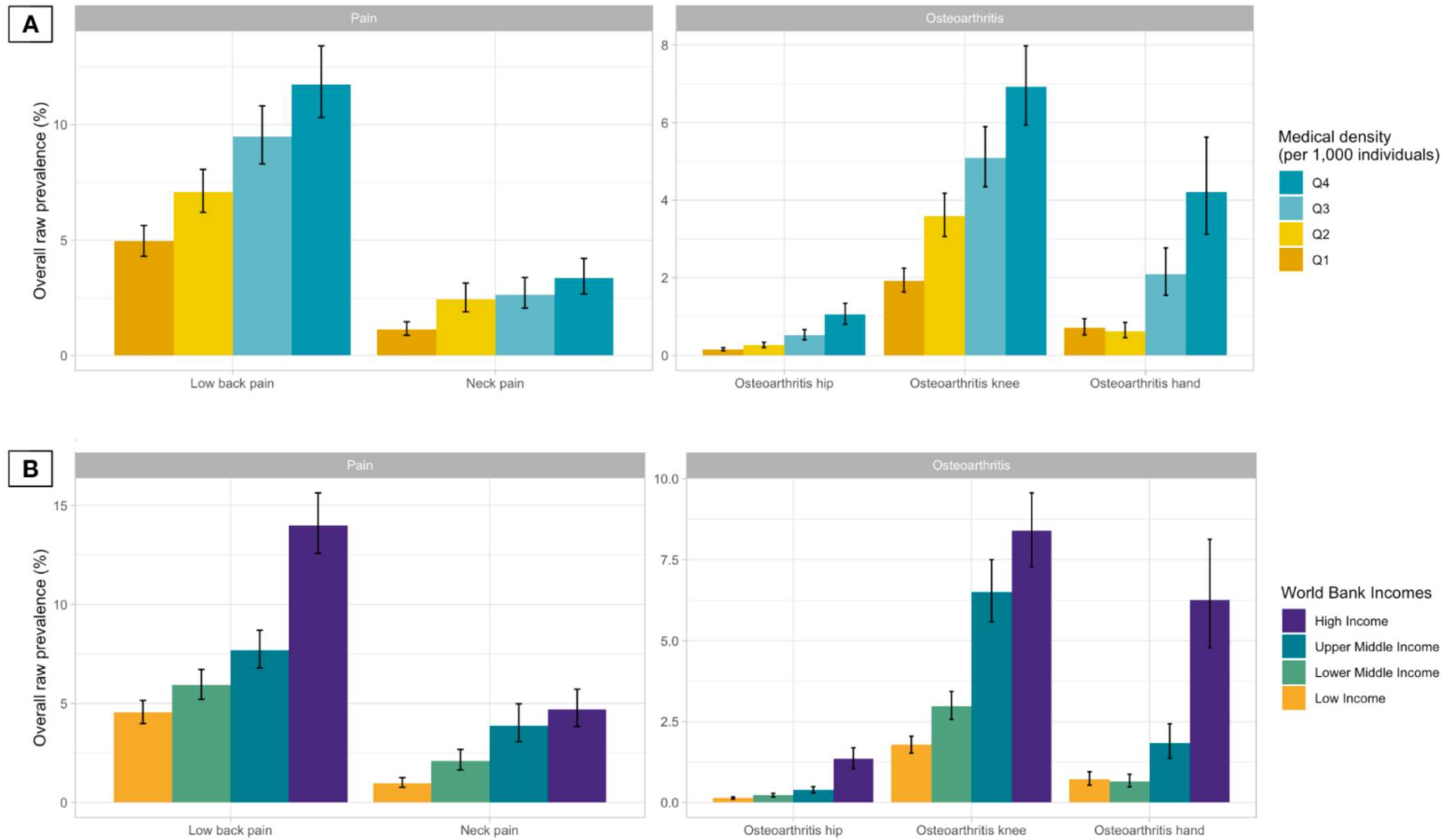
### Prevalence of hand osteoarthritis by age and sex in 2019



### Prevalence of other osteoarthritis by age and sex in 2019



**Figure 3:** The distribution of the prevalence of MSD considering the World Bank incomes and the medical density worldwide. **A.** Distribution of MSD prevalence by World Bank income (low, lower-middle, upper-middle, and high incomes) in 2019. **B.** Distribution of MSD prevalence by medical density (per 1,000 individuals) categorized by quantiles in 2017.

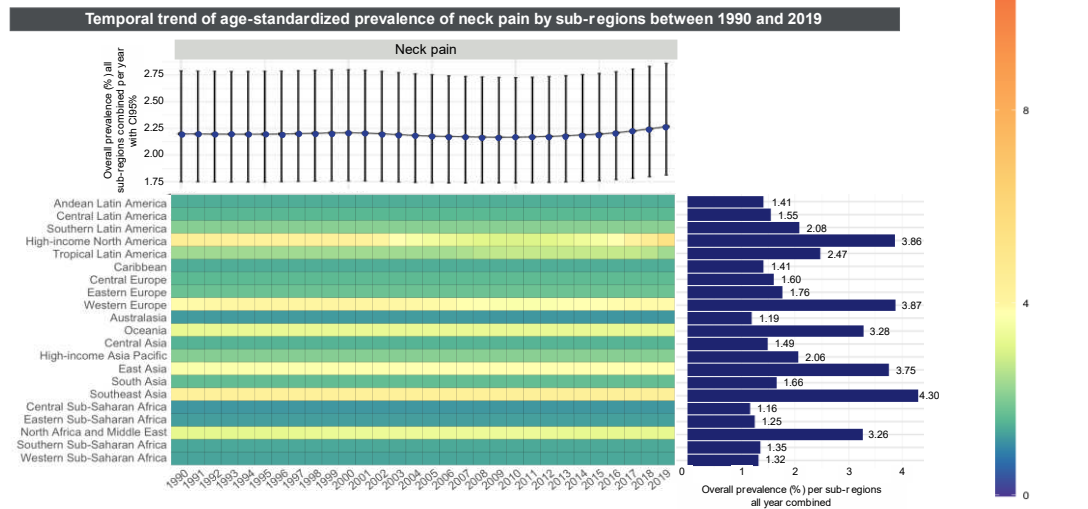
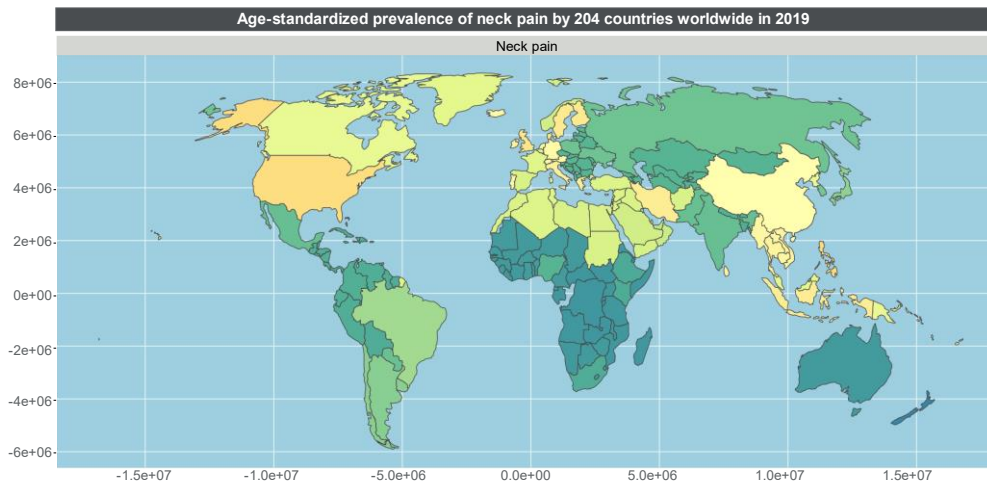
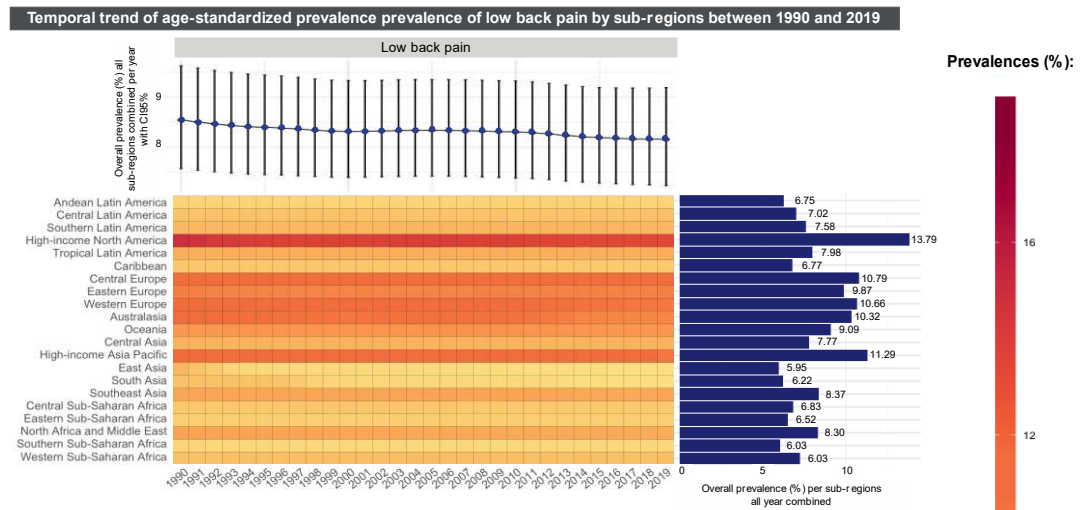
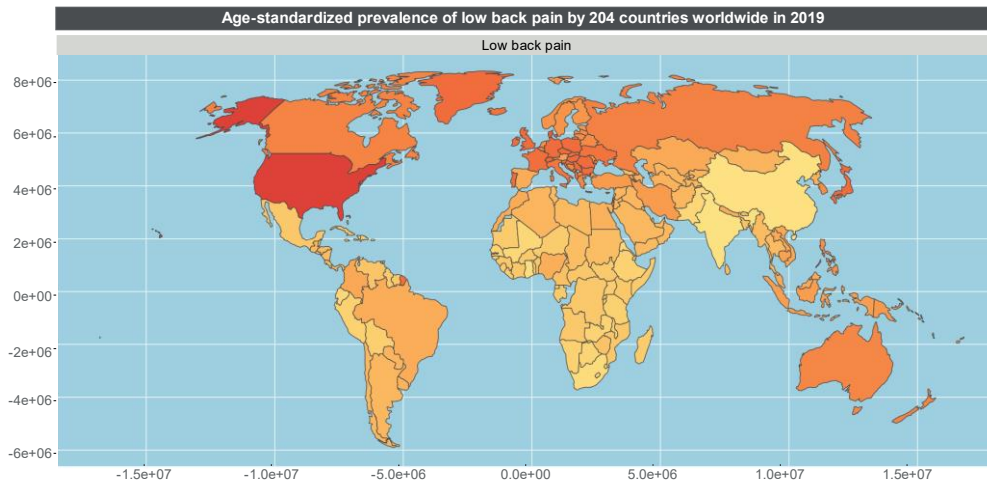


## References:

- 1 Report of a WHO Scientific Group. The burden of musculoskeletal conditions at the start of the new millennium. 2003. [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42721/WHO\\_TRS\\_919.pdf;jsessionid=D00C30C4A569458754AD14CC3E3A0D8D?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42721/WHO_TRS_919.pdf;jsessionid=D00C30C4A569458754AD14CC3E3A0D8D?sequence=1) (accessed 14 Oct 2021).
- 2 Bevan S. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2015;**29**:356–73. doi:10.1016/j.berh.2015.08.002
- 3 Blyth FM, Briggs AM, Schneider CH, *et al.* The Global Burden of Musculoskeletal Pain—Where to From Here? *Am J Public Health* 2019;**109**:35–40. doi:10.2105/AJPH.2018.304747
- 4 Cieza A, Causey K, Kamenov K, *et al.* Global estimates of the need for rehabilitation based on the Global Burden of Disease study 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet* 2020;**396**:2006–17. doi:10.1016/S0140-6736(20)32340-0
- 5 Bouziri H, Descatha A, Roquelaure Y, *et al.* Can we distinguish the roles of demographic and temporal changes in the incidence and prevalence of musculoskeletal disorders? A systematic review. *Scand J Work Environ Health* doi:10.5271/sjweh.4018
- 6 Hulshof CTJ, Pega F, Neupane S, *et al.* The effect of occupational exposure to ergonomic risk factors on osteoarthritis of hip or knee and selected other musculoskeletal diseases: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environ Int* 2021;**150**:106349. doi:10.1016/j.envint.2020.106349
- 7 Roquelaure Y. *Musculoskeletal disorders and psychosocial factors at work [Internet]*. Brussels: European Trade Union Institute (ETUI); 2018 p. 82. Report No.: 142. <https://www.etui.org/sites/default/files/EN-Report-142-MSD-Roquelaure-WEB.pdf>
- 8 Physical and psychosocial risk factors for musculoskeletal disorders in New Zealand nurses, postal workers and office workers | Injury Prevention. <https://injuryprevention.bmj.com/content/16/2/96.short> (accessed 29 Oct 2021).
- 9 Jain R, Meena ML, Dangayach GS, *et al.* Association of risk factors with musculoskeletal disorders in manual-working farmers. *Arch Environ Occup Health* 2018;**73**:19–28. doi:10.1080/19338244.2017.1289890
- 10 E C, Y R, C H, *et al.* [MSDs and job security of employees aged 50 years and over: a challenge for occupational health and public health]. *Sante Publique Vandoeuvre--Nancy Fr* 2008;**20 Suppl 3**:S19-28. doi:10.3917/spub.083.0019
- 11 Okunribido OO, Wynn T, Lewis D. Are older workers at greater risk of musculoskeletal disorders in the workplace than young workers? – A literature review. *Occup Ergon* 2011;**10**:53–68. doi:10.3233/OER-2011-0192
- 12 Schofield DJ, Shrestha RN, Passey ME, *et al.* Chronic disease and labour force participation among older Australians. *Med J Aust* 2008;**189**:447–50. doi:10.5694/j.1326-5377.2008.tb02119.x
- 13 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World population ageing, 2019 highlights*. 2020.
- 14 The Lancet: Latest global disease estimates reveal perfect storm of rising chronic diseases and public health failures fuelling COVID-19 pandemic. Inst. Health Metr. Eval. 2020. <https://www.healthdata.org/news-release/lancet-latest-global-disease-estimates-reveal-perfect-storm-rising-chronic-diseases-and> (accessed 15 Jul 2022).

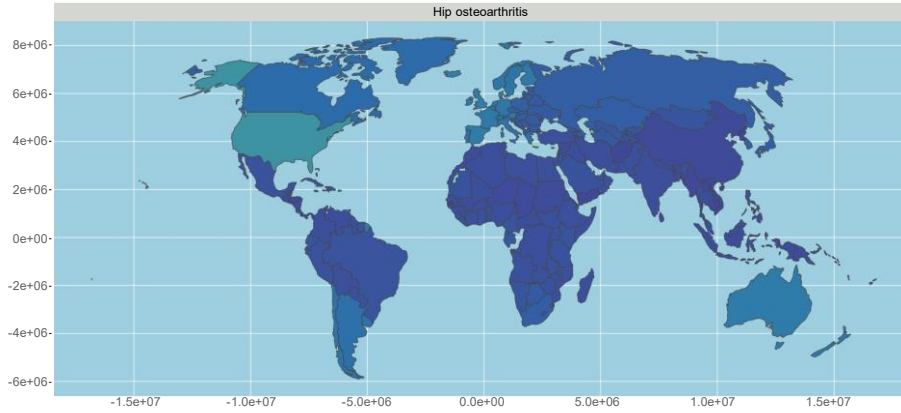
## Supplementary materials:

S1: Spatial and temporal distribution of the age-standardized prevalence of MSD worldwide by 204 countries and 21 sub-regions between 1990 and 2019.

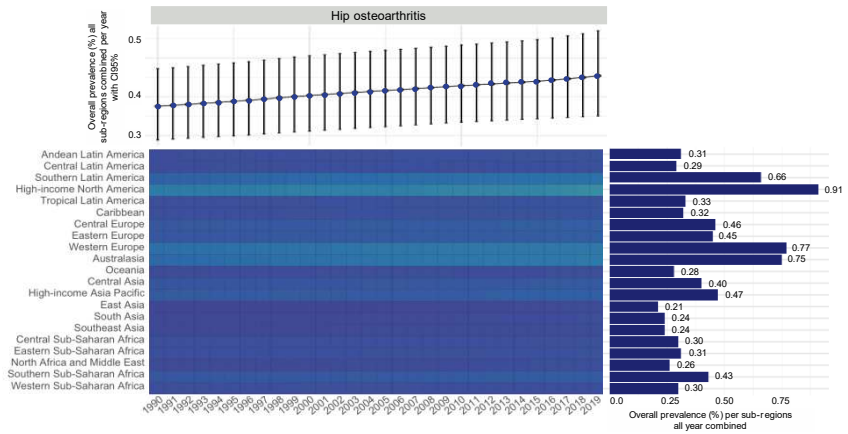




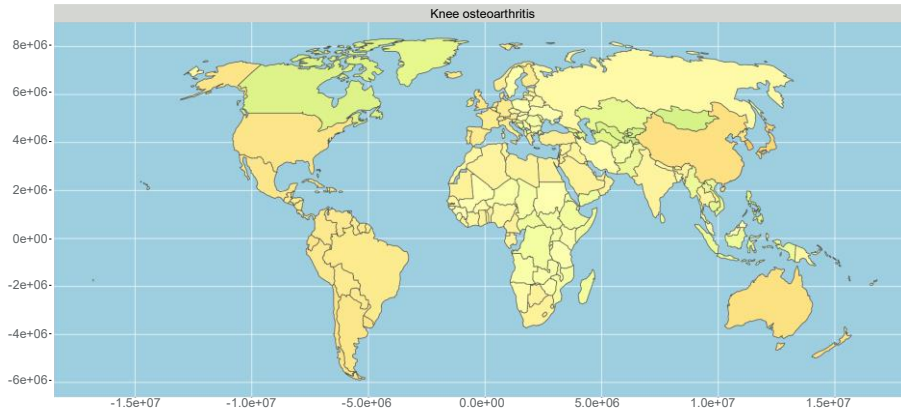
Age-standardized prevalence of hip osteoarthritis by 204 countries worldwide in 2019



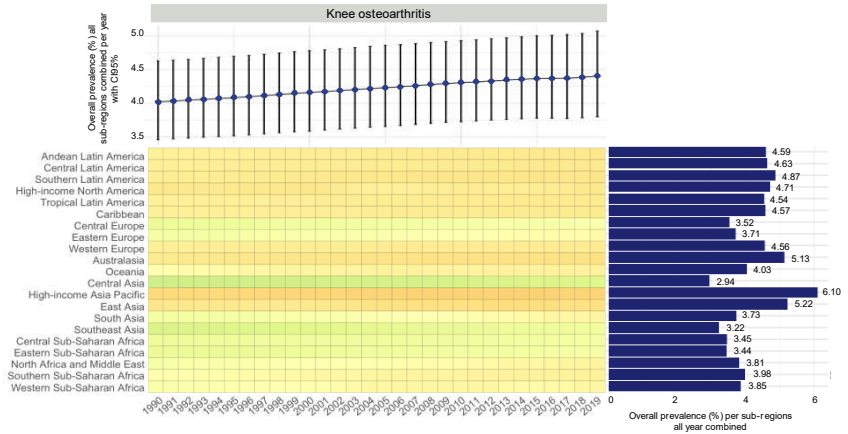
Temporal trend of age-standardized prevalence of hip osteoarthritis by sub-regions between 1990 and 2019



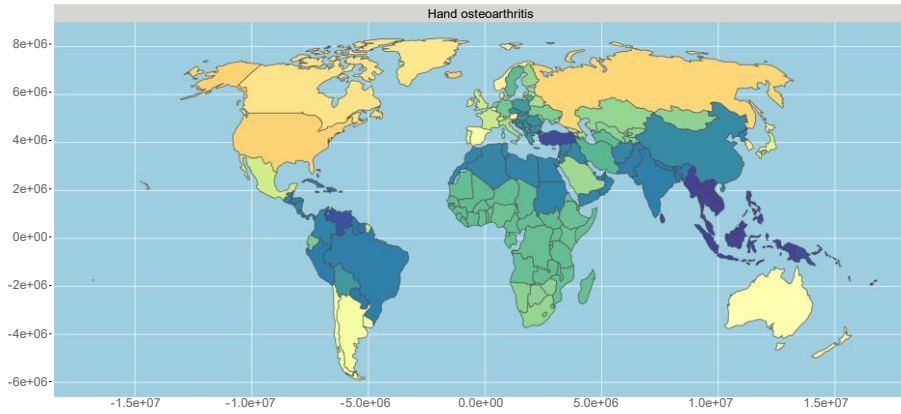
Age-standardized prevalence of knee osteoarthritis by 204 countries worldwide in 2019



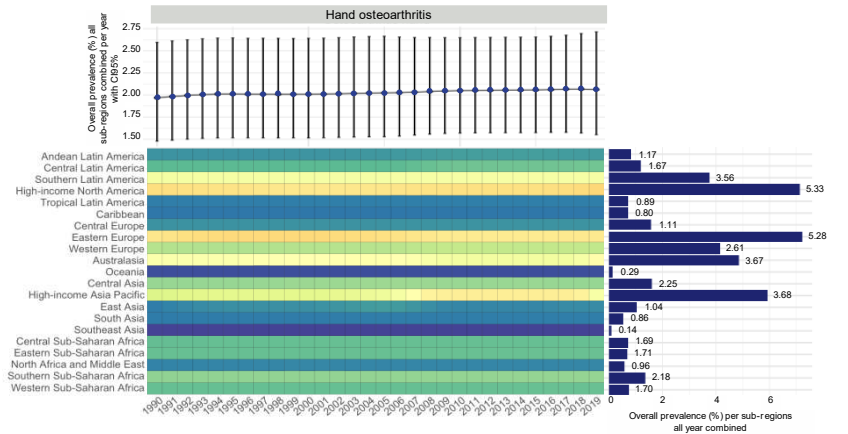
Temporal trend of age-standardized prevalence of knee osteoarthritis by sub-regions between 1990 and 2019



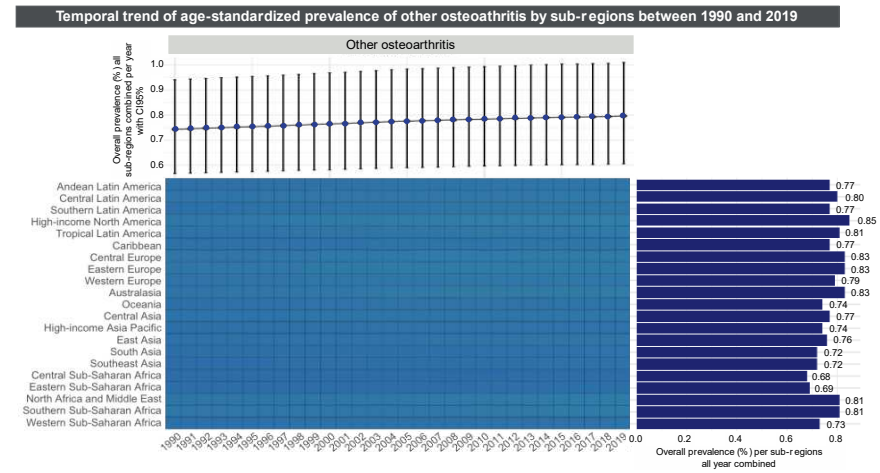
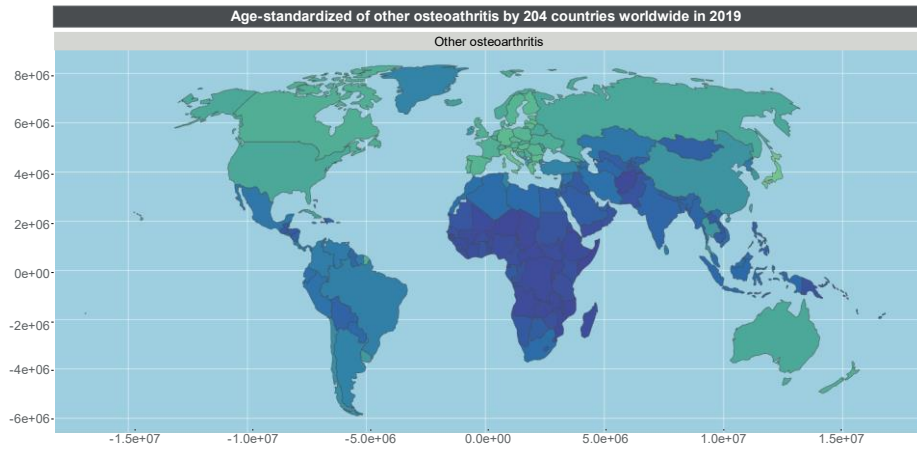
Age-standardized prevalence of hand osteoarthritis by 204 countries worldwide in 2019



Temporal trend of age-standardized prevalence of hand osteoarthritis by sub-regions between 1990 and 2019







S2: The table of the minimum and maximum prevalence of MSD considering their 95% CIs per country for the year 2019

Min/ max	MSD	Raw prevalence of MSD			Age-standardized prevalence of MSD		
		Country	Prevalence (%)	CI 95%	Country	Prevalence (%)	CI 95%
Minimum	Low back pain	India	3.31	[2.89-3.77]	India	5.37	[4.73-6.09]
	Neck pain	Niger	0.56	[0.44-0.73]	New Zealand	0.96	[0.77-1.20]
	Osteoarthritis hip	Afghanistan	0.07	[0.06-0.09]	Democratic People's Republic of Korea	0.19	[0.14-0.24]
	Osteoarthritis knee	Somalia	0.98	[0.82-1.14]	Tajikistan	2.77	[2.38-3.21]
	Osteoarthritis hand	Timor-Leste	0.04	[0.02-0.05]	Maldives	0.12	[0.08-0.16]
	Other osteoarthritis	Somalia	0.21	[0.16-0.28]	Central African Republic	0.67	[0.51-0.86]
	Average minimum prevalence		0.86	[0.73-1.01]	Average minimum prevalence	1.68	[1.43-1.96]
Maximum	Low back pain	Japan	18.9	[16.7-21.4]	United States of America	13.7	[12.7-14.9]
	Neck pain	United States of America	7.98	[6.63-9.56]	Philippines	5.55	[4.42-7.01]
	Osteoarthritis hip	Monaco	2.08	[1.57-2.64]	United States of America	1.12	[0.89-1.37]
	Osteoarthritis knee	Japan	16.9	[19.1-14.7]	Republic of Korea	6.74	[5.80-7.71]
	Osteoarthritis hand	Republic of Korea	13.3	[10.0-17.3]	Iceland	6.21	[4.65-8.06]
	Other osteoarthritis	Monaco	1.82	[1.41-2.29]	Qatar	1.01	[0.75-1.30]
	Average maximum prevalence		10.16	[10.5-11.3]	Average maximum prevalence	5.72	[4.65-6.72]

S3: The table of the global prevalence of MSD considering their 95% CIs worldwide for the year 2019

MSD	Prevalence (%)	CI 95%
Low back pain	8.62	[7.62-9.74]
Neck pain	2.45	[1.95-3.10]
Osteoarthritis hip	0.56	[0.43-0.70]
Osteoarthritis knee	5.02	[4.32-5.77]
Osteoarthritis hand	2.61	[1.96-3.44]
Other osteoarthritis	0.70	[0.53-0.89]

S4: Summary of the CA temporal trend tests on the prevalence of MSD between 1990 and 2019 in both sexes (♂), women (♀), and men (♂).

S4.1: Summary of the CA temporal trend tests on the prevalence of pain between 1990 and 2019.

P-VALUES FROM THE RESULTS OF THE COCHRAN-ARMITAGE TEMPORAL TREND TEST ON PREVALENCE OF 5 TYPES OF MSDs BETWEEN 1990 & 2019																		
TYPE OF MSDs	LOW BACK PAIN						NECK PAIN						OTHER MSD					
	Raw			Age-standardized			Raw			Age-standardized			Raw			Age-standardized		
Prevalence	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♂
SEX	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♂
Andean Latin America	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Central Latin America	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Southern Latin America	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
High-income North America	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Tropical Latin America	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Caribbean	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Central Europe	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Eastern Europe	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Western Europe	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Australasia	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Oceania	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Central Asia	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
High-income Asia Pacific	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
East Asia	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
South Asia	Blue	Blue	Blue	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Southeast Asia	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Central Sub-Saharan Africa	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Eastern Sub-Saharan Africa	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
North Africa and Middle East	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Southern Sub-Saharan Africa	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Western Sub-Saharan Africa	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Red	Red	Red	Red

Legends:

- Increase, p-value < 0.05
- Decrease, p-value < 0.05
- Increase, p-value < 0.1
- Decrease, p-value < 0.1
- Non-significant p-value > 0.1

S4.2: Summary of the CA temporal trend tests on the prevalence of osteoarthritis between 1990 and 2019

**P-VALUES FROM THE RESULTS OF THE COCHRAN-ARMITAGE TEMPORAL TREND TEST ON PREVALENCE OF 5 TYPES OF MSDs BETWEEN 1990 & 2019**

TYPE OF MSDs	HIP OSTEOARTHRITIS						KNEE OSTEOARTHRITIS						HAND OSTEOARTHRITIS						OTHER OSTEOARTHRITIS											
	Prevalence			Raw			Age-standardized			Raw			Age-standardized			Raw			Age-standardized			Raw			Age-standardized					
SEX	♂	♀	♂	♂	♀	♂	♂	♀	♂	♂	♀	♂	♂	♀	♂	♂	♀	♂	♂	♀	♂	♂	♀	♂	♂	♀	♂	♂	♀	♂
Andean Latin America																														
Central Latin America																														
Southern Latin America																														
High-income North America																														
Tropical Latin America																														
Caribbean																														
Central Europe																														
Eastern Europe																														
Western Europe																														
Australasia																														
Oceania																														
Central Asia																														
High-income Asia Pacific																														
East Asia																														
South Asia																														
Southeast Asia																														
Central Sub-Saharan Africa																														
Eastern Sub-Saharan Africa																														
North Africa and Middle East																														
Southern Sub-Saharan Africa																														
Western Sub-Saharan Africa																														

**Legends:**

- Increase, p-value < 0.05
- Decrease, p-value < 0.05
- Increase, p-value < 0.1
- Decrease, p-value < 0.1
- Non-significant p-value > 0.1

S5: Details of the p-values from the Cochran-Armitage temporal trend tests on the prevalence of MSD between 1990 and 2019: in both sex (S5.1), women (S5.2), and men (S5.3).  
S5.1

**P-VALUES FROM THE RESULTS OF THE COCHRAN-ARMITAGE TEMPORAL TREND TEST ON PREVALENCE OF 5 TYPES OF MSDs BETWEEN 1990 & 2019 (both sex)**

TYPE OF MSDs	LOW BACK PAIN		NECK PAIN		HIP OSTEOARTHRITIS		KNEE OSTEOARTHRITIS		HAND OSTEOARTHRITIS	
	Prevalence	Raw	Age-standardized	Raw	Age-standardized	Raw	Age-standardized	Raw	Age-standardized	Raw
Andean Latin America	0.0002***	0.6048	0.0188*	0.5578	4.9e-07***	0.0626	1.1e-13***	0.0521	6.4e-05***	0.2029
Central Latin America	0.0005***	0.4831	0.0075**	0.5639	1.5e-05***	0.2830	4.6e-16***	0.1096	3.5e-06***	0.1371
Southern Latin America	0.0300*	0.4247	0.1049	0.4565	0.0001***	0.0218*	6.1e-06***	0.0674	0.0585	0.4713
High-income North America	0.2111	0.1269	0.7167	0.0449*	2.2e-05***	0.0495*	0.0006***	0.8182	0.0026**	0.2689
Tropical Latin America	0.0016**	0.4644	0.0003***	0.8898	5.8e-08***	0.0761	6.3e-15***	0.0906	0.0004***	0.4561
Caribbean	0.0058**	0.4245	0.0542	0.5149	3.7e-05***	0.0985	4.4e-09***	0.1192	0.0123*	0.4765
Central Europe	0.0182*	0.3891	0.0591	0.5671	0.0001***	0.1389	1.4e-07***	0.1613	0.0115*	0.4665
Eastern Europe	0.0279*	0.5057	0.1469	0.5458	0.0026**	0.1187	0.0001***	0.1506	0.4312	0.9118
Western Europe	0.2171	0.2495	0.4195	0.3374	0.0030**	0.1418	0.0001***	0.2210	0.0192*	0.2824
Australasia	0.3240	0.0956	0.2629	0.3583	1.5e-05***	0.0267*	1.9e-07***	0.0860	0.0468*	0.6912
Oceania	0.0708	0.5554	0.1776	0.5169	0.0693	0.3059	0.0031**	0.2013	0.2160	0.4940
Central Asia	0.0234*	0.4885	0.0792	0.5445	0.0344**	0.1830	0.0028**	0.2052	0.1496	0.4945
High-income Asia Pacific	0.0268*	0.2184	0.0359*	0.5566	2.7e-06***	0.2278	1.4e-14***	0.1897	3.2e-10***	0.0020**
East Asia	0.0077**	0.0102*	0.0028**	0.3813	2.6e-11***	0.0102*	9.5e-23***	0.0232*	0.0001***	0.5226
South Asia	0.6705	0.0006***	0.0450*	0.5502	2.3e-06***	0.0182*	3.4e-09***	0.0710	0.0097**	0.4150
Southeast Asia	0.0001***	0.5026	0.0082**	0.5771	1.3e-06***	0.0800	1.8e-13***	0.0470*	0.0055**	0.4456
Central Sub-Saharan Africa	0.3846	0.4409	0.3639	0.5145	0.4247	0.3673	0.4164	0.3440	0.4882	0.4648
Eastern Sub-Saharan Africa	0.2141	0.5049	0.2912	0.5422	0.1474	0.1723	0.1632	0.1899	0.4084	0.4423
North Africa and Middle East	0.0024**	0.2870	0.0121*	0.5507	0.0001***	0.0932	5.9e-08***	0.1038	0.0155*	0.4501
Southern Sub-Saharan Africa	0.0054**	0.4411	0.0547	0.5641	0.0016**	0.1595	5.6e-06***	0.1649	0.0244*	0.4380
Western Sub-Saharan Africa	0.4717	0.5022	0.3800	0.6109	0.6406	0.4113	0.5171	0.1886	0.6167	0.4521

**Legends:**

- Increase, p-value < 0.05
- Decrease, p-value < 0.05
- Increase, p-value < 0.1
- Decrease, p-value < 0.1
- Non-significant p-value > 0.1



S5.2

**P-VALUES FROM THE RESULTS OF THE COCHRAN-ARMITAGE TEMPORAL TREND TEST ON PREVALENCE OF 5 TYPES OF MSDs BETWEEN 1990 & 2019 (women)**

TYPE OF MSDs	LOW BACK PAIN		NECK PAIN		HIP OSTEOARTHRITIS		KNEE OSTEOARTHRITIS		HAND OSTEOARTHRITIS	
	Prevalence	Raw	Age-standardized	Raw	Age standardized	Raw	Age standardized	Raw	Age standardized	Raw
Andean Latin America	0.0001***	0.4012	0.0135*	0.4552	0.0001***	0.4012	7.46e-14***	0.0671	2.04e-05***	0.1933
Central Latin America	0.0035**	0.7429	0.0061**	0.4597	0.0035**	0.7429	8.90e-17***	0.1573	2.42e-06***	0.1645
Southern Latin America	0.0350*	0.4528	0.1229	0.4657	0.0350*	0.4528	1.25e-05***	0.0861	0.0624	0.4706
High-income North America	0.2313	0.8498	0.6680	0.0812	0.2313	0.8498	0.0025**	0.7870	0.0023**	0.1966
Tropical Latin America	0.0016**	0.5552	0.0002***	0.1014	0.0016**	0.5552	5.39e-15***	0.1356	0.0003***	0.4823
Caribbean	0.0033**	0.5710	0.0436*	0.4879	0.0033**	0.5710	3.51e-09***	0.1534	0.0093**	0.4905
Central Europe	0.0382*	0.6794	0.0674	0.4450	0.0382*	0.6794	1.40e-07***	0.1433	0.0116*	0.4718
Eastern Europe	0.0344*	0.4837	0.1702	0.4670	0.0344*	0.4837	0.0004***	0.1256	0.3394	0.8175
Western Europe	0.1584	0.6624	0.4348	0.6528	0.1584	0.6624	0.0006***	0.1916	0.0264*	0.2430
Australasia	0.2059	0.8106	0.2907	0.6753	0.2059	0.8106	1.34e-06***	0.0943	0.0733	0.7384
Oceania	0.0710	0.4473	0.1805	0.4904	0.0710	0.4473	0.0029**	0.1662	0.2303	0.4928
Central Asia	0.0366*	0.5274	0.0870	0.4664	0.0366*	0.5274	0.008**	0.2143	0.1829	0.4827
High-income Asia Pacific	0.0586	0.8590	0.0481*	0.4306	0.0586	0.8590	4.17e-15***	0.1373	4.15e-11***	0.0002***
East Asia	0.0026**	0.0135*	0.0022**	0.4076	0.0026**	0.0135*	5.45e-24***	0.0202*	1.56e-06***	0.1776
South Asia	0.7255	0.0001***	0.0397*	0.4760	0.7255	0.0001***	7.73e-11***	0.0531	0.0059**	0.4757
Southeast Asia	0.0001***	0.4922	0.0086**	0.4372	0.0001***	0.4922	1.19e-13***	0.0588	0.0058**	0.4626
Central Sub-Saharan Africa	0.5031	0.6456	0.4016	0.4871	0.5031	0.6456	0.4636	0.3981	0.5024	0.4886
Eastern Sub-Saharan Africa	0.3165	0.6432	0.2933	0.4740	0.3165	0.6432	0.1425	0.2741	0.3680	0.4729
North Africa and Middle East	0.0025	0.6406	0.0116*	0.4388	0.0025**	0.6406	3.17e-08***	0.1012	0.0123*	0.4338
Southern Sub-Saharan Africa	0.0090**	0.7089	0.0526	0.4599	0.0090**	0.7089	3.59e-06***	0.2592	0.0166*	0.4649
Western Sub-Saharan Africa	0.2821**	0.4702	0.2390	0.3774	0.2821	0.4702	0.2294	0.2050	0.5072	0.4921

**Legends:**

- Increase, p-value < 0.05
- Decrease, p-value < 0.05
- Increase, p-value < 0.1
- Decrease, p-value < 0.1
- Non-significant p-value > 0.1

S5.3

**P-VALUES FROM THE RESULTS OF THE COCHRAN-ARMITAGE TEMPORAL TREND TEST ON PREVALENCE OF 5 TYPES OF MSDs BETWEEN 1990 & 2019 (men)**

TYPE OF MSDs	LOW BACK PAIN		NECK PAIN		HIP OSTEOARTHRITIS		KNEE OSTEOARTHRITIS		HAND OSTEOARTHRITIS	
	Prevalence	Raw	Age-standardized	Raw	Age standardized	Raw	Age standardized	Raw	Age standardized	Raw
Andean Latin America	0.0005***	0.4002	0.0282*	0.4342	2.21e-07***	0.0335*	6.09e-13***	0.0453*	0.0012**	0.3040
Central Latin America	1.97e-05***	0.1861	0.0098**	0.4215	3.55e-06***	0.2434	6.85e-15***	0.0874	5.74e-06***	0.1225
Southern Latin America	0.0269*	0.3860	0.1012	0.4473	0.0001***	0.0178*	3.89e-06***	0.0450*	0.0612	0.4586
High-income North America	0.1866	0.8818	0.7780	0.0181*	7.36e-05***	0.0322*	2.99e-05***	0.7792	0.0037**	0.3662
Tropical Latin America	0.0018**	0.5214	0.0007***	0.1333	7.36e-05***	0.0394*	2.00e-14***	0.0594	0.0019**	0.4677
Caribbean	0.0133*	0.5905	0.0711	0.4842	6.87e-07***	0.0787	1.30e-08***	0.0925	0.0242*	0.4874
Central Europe	0.0077**	0.5355	0.0600	0.4156	0.0003***	0.2014	2.70e-07***	0.1805	0.0112*	0.4523
Eastern Europe	0.0275*	0.4814	0.1382	0.4362	0.0035**	0.2231	4.18e-05***	0.1985	0.6666	0.0169*
Western Europe	0.3015	0.8104	0.3844	0.6571	0.0009***	0.1553	4.26e-06***	0.1561	0.0081**	0.2797
Australasia	0.4956	0.0433*	0.2451	0.5985	6.59e-06***	0.0285*	2.03e-08***	0.0627	0.0155*	0.4791
Oceania	0.0772	0.4410	0.1889	0.4761	0.0764	0.3431	0.0049**	0.2602	0.2258	0.4842
Central Asia	0.0126*	0.4773	0.0786	0.4412	0.0172*	0.1869	0.0004***	0.1745	0.0753	0.4279
High-income Asia Pacific	0.0071**	0.4655	0.0248*	0.4355	7.18e-06***	0.3325	1.32e-13***	0.1531	0.0002***	0.4490
East Asia	0.0369*	0.0076**	0.0056**	0.3806	2.83e-11***	0.0102*	9.72e-20***	0.0445*	0.0060**	0.8821
South Asia	0.6661	0.0011**	0.0569	0.4439	0.0002***	0.0957	1.04e-06***	0.1800	0.0309*	0.4574
Southeast Asia	0.0002***	0.5024	0.0085**	0.4099	7.79e-07***	0.0497	7.50e-13***	0.0405*	0.0240*	0.4680
Central Sub-Saharan Africa	0.2694	0.4709	0.3216	0.4746	0.3554	0.2692	0.3537	0.3008	0.4633	0.4791
Eastern Sub-Saharan Africa	0.1468	0.3601	0.2883	0.4486	0.1145	0.0837	0.1943	0.1315	0.4816	0.4506
North Africa and Middle East	0.0024**	0.2292	0.0139*	0.4482	0.0002***	0.1135	1.82e-07***	0.1071	0.0275*	0.4745
Southern Sub-Saharan Africa	0.0036**	0.3941	0.0658	0.4169	0.0011**	0.0756	1.08e-05***	0.0823	0.0460*	0.4357
Western Sub-Saharan Africa	0.6692	0.5329	0.5970	0.4931	0.7808	0.4166	0.8378	0.2233	0.7789	0.4741

**Legends:**

- Increase, p-value < 0.05
- Decrease, p-value < 0.05
- Increase, p-value < 0.1
- Decrease, p-value < 0.1
- Non-significant p-value > 0.1

**S6:** Tables of linear regression models on 5 MSD for 2019.

The World Bank income was an ordinal variable classified into four income levels: World Bank high-income, World Bank upper-middle-income, World Bank lower-middle-income, and World Bank low-income. The medical density variable for 1,000 individuals per country in 2017 was initially continuous and then categorized as an ordinal variable according to the highlighted four quantiles (Q1, Q2, Q3 and Q4).

Predictors	Low back pain			Neck pain			Hip osteoarthritis			Knee osteoarthritis			Hand osteoarthritis		
	Estimates	CI (95%)	P-Value	Estimates	CI (95%)	P-Value	Estimates	CI (95%)	P-Value	Estimates	CI (95%)	P-Value	Estimates	CI (95%)	P-Value
<b>World Bank Incomes</b>	1.54	[1.16 – 1.92]	<b>&lt;0.001</b>	0.55	[0.31 – 0.78]	<b>&lt;0.001</b>	0.17	[0.12 – 0.21]	<b>&lt;0.001</b>	1.15	[0.89 – 1.42]	<b>&lt;0.001</b>	0.60	[0.29 – 0.90]	<b>&lt;0.001</b>
<b>Medical density</b>	0.71	[0.51 – 0.92]	<b>&lt;0.001</b>	0.20	[0.07 – 0.33]	<b>0.002</b>	0.12	[0.10 – 0.15]	<b>&lt;0.001</b>	0.55	[0.41 – 0.69]	<b>&lt;0.001</b>	0.52	[0.35 – 0.69]	<b>&lt;0.001</b>
<b>Observations</b>	187			187			187			187			187		
<b>R<sup>2</sup>/R<sup>2</sup> adjusted</b>	0.654/0.650			0.340/0.333			0.688/0.685			0.697/0.694			0.469/0.463		

## **Chapitre 2**

Peut-on distinguer le rôle des changements démographiques et temporels dans l'incidence et la prévalence des troubles musculosquelettiques ?

## 10. Synthèse de l'article

### 10.1. Justification d'une revue systématique de la littérature

Malgré la force de l'étude présentée au chapitre 1, les données du GBD présentent certaines limites pouvant influencer les interprétations (voir discussion de l'article en section 8). L'une d'entre elle résulte du fait que les estimations du GBD reposent sur des études transversales et dont la qualité peut considérablement varier d'un pays à l'autre. Il arrive d'ailleurs que pour certains pays dont les données étaient incomplètes, un calibrage ait été utilisé sur les pays voisins (principalement observé pour les pays africains) (Driscoll et al., 2014).

Nous avons donc fait une revue systématique de la littérature dont le but est de rassembler et d'examiner les preuves existantes sur les rôles respectifs des changements démographiques et temporels dans la survenue des TMS, en sélectionnant à la fois les études sur la base d'enquêtes répétées dans le temps mais aussi les cohortes et les études de séries temporelles. Nous avons suivi la méthodologie de recherche et d'examen systématique décrite par Grant et Booth (Grant & Booth, 2009). Ce type d'examen consiste à combiner une méthode de recherche systématique avec une analyse d'examen critique et est utilisé pour répondre à des questions générales tout en incorporant souvent plusieurs modèles d'étude.

### 10.2. Méthodes

#### 10.2.1. Stratégie de recherche

Le protocole d'étude a été enregistré dans PROSPERO (CRD42020221499). Ce protocole est conforme aux directives PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-analysis) (Liberati et al., 2009; Beller et al., 2013; Shamseer et al., 2015). Une liste de contrôle PRISMA 2020 détaillée est fournie dans le matériel supplémentaire 1 de l'article mis en section 10 de ce chapitre.

### 10.2.2. Recherche documentaire

Nous avons recherché dans quatre bases de données bibliographiques différentes des études publiées entre 1990 et 2020 : Medline, ScienceDirect, Wiley et Web of Science. Les détails de la stratégie de recherche utilisée pour chaque base de données y compris les algorithmes de mots-clés utilisés, le nombre de résultats et les articles présélectionnés pour le filtrage sont fournis dans le matériel complémentaire S2 de l'article mis en section 10 de ce chapitre.

### 10.2.3. Critères d'inclusion et d'exclusion

Pour l'étape d'identification des articles, lorsque les bases de données le permettaient, nous avons automatiquement exclu les résultats liés à des sujets non pertinents pour notre recherche, tels que les études impliquant des animaux, la biologie moléculaire, les études d'immunologie ou les rapports de cas cliniques. Ensuite, un premier tour de tri sélectif a été effectué sur la base des titres et des résumés (étape 1). Seuls les articles originaux ont été inclus ; les rapports de conférence, les analyses documentaires et les éditoriaux ont été exclus. A ce stade, seuls les articles rapportant des résultats sur les TMS tout en mentionnant la notion de tendances temporelles ont été retenus. Dans l'évaluation en texte intégral (étape 2), les articles définissant les TMS comme un groupe ou un ensemble de maladies localisées au niveau ou autour des articulations (poignets, coudes, épaules, dos ou genoux) ont été sélectionnés. Les pathologies considérées ici concernaient les muscles, les tendons et gaines tendineuses, les nerfs, les bourses, les articulations, les ligaments, à la périphérie des articulations des membres supérieurs, du rachis et des membres inférieurs. Nous avons exclu les TMS définis comme une manifestation articulaire de maladies organiques (e.g. psoriasis, lupus, goutte, etc.) ou comme la localisation articulaire d'origines inflammatoires systémiques (e.g. arthrose secondaire). À cette étape, seuls les articles rapportant des tendances temporelles de l'incidence et/ou de la prévalence des TMS tout en prenant en compte l'âge ont été sélectionnés. Nous avons inclus des études menées auprès de la population en âge de travailler. Les études sur les personnes de moins de 18 ans et les travailleurs non rémunérés ont été exclues. La prévalence ou l'incidence des TMS au fil du temps qui ne traitent que de la moyenne des prévalences sur une période donnée ont également été exclues.



#### 10.2.4. Dépistage

Le logiciel *Covidence Systematic Review* a permis la sélection des études, leur téléchargement et la suppression des doublons (*Covidence - Better Systematic Review Management, 2021.*). Les deux étapes 1 et 2 ont été réalisées par deux auteurs indépendants (H. Bouziri et A.Descatha) pour évaluer l'éligibilité des études identifiées dans les bases de données. Tout conflit dans la sélection d'articles ou l'évaluation du texte intégral a été résolu par un troisième chercheur principal (W. Dab).

#### 10.2.5. Extraction des données

Tous les articles inclus ont été lus pour l'identification et l'extraction des caractéristiques suivantes : localisation géographique, population étudiée, conception de l'étude et critères de recrutement, date de début et de fin de suivi, sites de TMS (membres supérieurs, membres inférieurs et dos, ou non spécifiés), les critères utilisés pour la définition des TMS (basés soit sur la douleur, soit sur le handicap) et la méthode utilisée pour le diagnostic des TMS.

#### 10.2.6. Évaluation du risque de biais et de qualité des preuves

Pour évaluer le risque de biais dans les études incluses, nous avons utilisé le RoB-SPEO (Pega et al., 2020) et l'outil de guidage Navigator, que nous avons adapté pour notre étude (Woodruff & Sutton, 2014; Descatha et al., 2018). Les biais que nous avons évalués étaient les biais de sélection, les biais potentiels liés à une mauvaise classification des TMS, les biais dus à une mauvaise prise en compte des facteurs de confusion et les biais dus à un potentiel conflit d'intérêts. Chaque article a été classé selon son niveau de biais (faible, probablement faible, probablement élevé, élevé). Nous avons également évalué la qualité des tendances statistiques testées en utilisant la classification suivante : qualité satisfaisante, qualité probablement satisfaisante, qualité probablement insatisfaisante, qualité insatisfaisante. De plus amples détails sur les critères et les classifications utilisés pour l'évaluation du risque de biais et de la qualité des preuves sont disponibles dans le matériel supplémentaire S4 de l'article en section 10.

### 10.2.7. Analyse des tendances temporelles de la survenue des TMS

Les données suivantes ont été extraites de chaque article : les tendances temporelles brutes de la prévalence et/ou de l'incidence des TMS (le cas échéant), des informations concernant les méthodes utilisées pour contrôler l'âge, la prévalence et l'incidence des TMS au fil du temps après contrôle de l'âge. Pour chaque article, les tendances temporelles de la prévalence et/ou de l'incidence des TMS ont été analysées selon la localisation et la sévérité des TMS. Si une étude se faisait sur plusieurs types de TMS et/ou traitait à la fois des tendances temporelles de la prévalence et de l'incidence, nous avons considéré ces résultats indépendamment. Par conséquent, le nombre total de résultats pouvait éventuellement être supérieur au nombre d'études incluses. Nous avons également distingué deux groupes de résultats en fonction des sites de TMS et des critères retenus pour la définition des TMS, soit basés sur la douleur, soit sur l'impact sur la vie professionnelle et/ou sociale (ci-après dénommé handicap). La définition précise des TMS utilisée dans chaque article est fournie dans le complément S3 de l'article en section 10. Les changements temporels de la prévalence/incidence des TMS ont été résumés selon qu'ils diminuaient, variaient de manière non monotone ou augmentaient.

### 10.2.8. Preuves synthétisées

Pour les articles rapportant à la fois les tendances temporelles brutes et ajustées sur l'âge des TMS, nous avons comparé les résultats pour évaluer s'il serait possible de dissocier l'âge du temps dans l'apparition des TMS au fil du temps. Lorsqu'elles sont mentionnées, nous avons résumé les interprétations et les hypothèses proposées pour expliquer les tendances temporelles observées dans la prévalence/incidence des TMS.

## 10.3. Résumé des résultats

### 10.3.1. Études sélectionnées

Un total de 2 680 articles a été identifié grâce à notre recherche systématique, dont 16 études remplissaient tous les critères d'éligibilité et ont donc été incluses dans la revue (voir le détail des résultats dans l'article publié en section 11).

### 10.3.2. Caractéristiques générales de l'étude

Les 16 articles inclus dans la revue ont été publiés entre 2003 et 2020 (Tableau 1 de l'article), parmi lesquels 12 ont été publiés après 2010. Globalement, les études ont été menées dans 3 zones géographiques : 12 en Europe (dont 5 dans des pays scandinaves), 3 aux États-Unis et 1 en Australie. La durée de la période d'étude variait de 10 à 55 ans selon les études. Huit études reposaient sur des populations échantillonnées (3 plans de cohorte, 5 études transversales répétées) représentant un total de 1 387 930 adultes individuels en âge de travailler. Parmi celles-ci, 2 études portaient uniquement sur la population masculine. Les 8 autres études reposaient sur une conception de séries chronologiques basée sur des données de surveillance recueillies dans 5 pays et 1 zone administrative infranationale. Le recrutement des individus pour les études transversales répétées a été effectué à partir de plans d'échantillonnage basés sur les ménages. Parmi les études de cohorte, 1 article s'est appuyé sur le recrutement de participants en milieu hospitalier, 1 a recruté des participants à partir des dossiers de santé au travail et 1 a recruté des participants à partir d'enquêtes précédentes réalisées à domicile. La plupart des études de séries chronologiques s'appuyaient sur des systèmes de surveillance en milieu hospitalier (5 articles sur 8). Parmi les articles inclus, 5 définissaient les TMS en fonction de la douleur, et 11 les définissaient en fonction d'un handicap. Ces 11 articles s'appuyant sur une définition des TMS liés au handicap ont été réalisés dans les pays scandinaves, au Royaume-Uni et en Australie. Parmi ceux-ci, la localisation dans le corps des TMS n'était pas précisée pour 8 articles, 2 articles considéraient les TMS affectant les membres inférieurs et le dos, et 1 considérait les TMS affectant les membres supérieurs.

### 10.3.3. Risque de biais et qualité des études

En général, nous n'avons pas identifié d'études présentant un risque élevé de biais ou dont la qualité était trop faible pour justifier une exclusion de la revue (Tableau 2 de l'article). Des résultats supplémentaires concernant la classification des biais et l'évaluation des méthodes statistiques sont fournis dans l'article.

### 10.3.4. Tendances temporelles de l'incidence et de la prévalence des TMS

Douze résultats ont rapporté des tendances temporelles de la prévalence et 11 de l'incidence. La variabilité des définitions des TMS et des sites corporels étudiés dans les articles de notre échantillon empêche la méta-analyse et le calcul d'estimations groupées des tendances

temporelles. Après contrôle de l'âge, les tendances temporelles signalées variaient, principalement entre des changements non monotones ( $n = 12/23$ ) et des augmentations ( $n = 10/23$ ) ; un article mettait également en évidence une augmentation chez les femmes et des changements non monotones chez les hommes ( $n = 1/23$ ). Parmi les 9 résultats basés sur la définition des TMS liés à la douleur, 7 ont montré un changement non monotone au fil du temps et 2 ont rapporté des tendances à la hausse (Großschädl et al. pour les douleurs lombaires, et Guido et al. pour la douleur dans toutes les localisations) (Figure 2.B). Ces résultats démontrent une hétérogénéité dans les tendances temporelles des TMS, y compris à la fois des augmentations et des changements non monotones (tableau 1 de l'article). L'évolution temporelle de l'incidence des TMS incapacitants tend également à augmenter ou à varier selon leur localisation. Parmi les 6 articles ne précisant pas la localisation des TMS, 3 montraient des tendances variables, deux rapportaient des augmentations dans le temps et 1 rapportait des résultats spécifiques au sexe, avec une augmentation chez les femmes et une courbe en cloche chez les hommes. Par ailleurs, deux articles rapportent une augmentation dans le temps des TMS localisés aux membres supérieurs. Pour les membres inférieurs et le dos, deux articles ont montré une augmentation des TMS, et 1 article a rapporté une évolution variable des TMS (Figure 2.C et Tableau 1 de l'article).

### 10.3.5. Preuves synthétisées

Notons que peu d'articles ont analysé les variations temporelles des TMS en contrôlant l'âge. Contrôler ou non l'âge peut produire des estimations divergentes des tendances temporelles dans des TMS spécifiques. Les résultats de ce travail mettent en évidence des impacts potentiellement distincts de l'âge et du temps dans la survenue des TMS, du moins pour les catégories d'âge supérieures. Quinze articles suggèrent que des facteurs autres que le vieillissement pourrait expliquer les tendances temporelles des TMS (Tableau 1 de l'article). Indépendamment des tendances observées, la plupart des articles ont émis l'hypothèse d'un lien entre les changements culturels autour de la perception de la douleur (tant chez les soignants que chez les patients), et une meilleure connaissance des pathologies avec l'amélioration des techniques de détection et de traitement. Nous avons également remarqué que 5 articles reliaient les tendances qu'ils rapportaient dans les TMS à l'obésité et l'indice de masse corporelle. De plus, Dick et al. ont suggéré que les changements dans les facteurs psychosociaux et organisationnels au travail pourraient expliquer les tendances non monotones qu'ils ont observées entre 2002 et 2014. Söderberg et al. ont suggéré que les tendances non monotones

qu'ils ont signalées reflétaient des changements dans les critères d'admissibilité au handicap plutôt que dans les expositions sous-jacentes. Enfin, le seul article faisant état d'une diminution des arrêts maladie pour TMS l'explique par une probable diminution des exigences physiques du travail et une meilleure santé et sécurité au travail.

## 10.4. Discussion

Cette revue montre que différents types de facteurs en plus du vieillissement peuvent contribuer à des tendances variables ou croissantes des TMS. Nous avons par ailleurs observé une hétérogénéité temporelle dans la survenue des TMS considérés, avec principalement des tendances non monotones ou croissantes au cours du temps. Il convient aussi de noter que, sur la base d'études rapportant à la fois des indicateurs bruts et contrôlés par l'âge, nous avons observé que la prise en compte ou non de l'âge pouvait conduire à des tendances temporelles divergentes, du moins parmi les catégories d'âge les plus élevées.

Cette revue a également identifié des lacunes importantes et une incertitude résiduelle dans les preuves actuellement disponibles concernant les tendances temporelles du fardeau des TMS et leurs causes sous-jacentes. Bien que nos critères d'inclusion aient été larges, la revue systématique n'a identifié que des études menées dans des pays occidentaux à revenu élevé : États-Unis, Europe (en particulier les pays scandinaves) et Australie. Ce manque de preuves considérant le fardeau des TMS et leurs implications socio-économiques ne nous permet donc pas de fournir une interprétation de l'évolution des TMS au sein de la population active mondiale (GBD 2016 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators, 2017).

## 10.5. Conclusion

À notre connaissance, il s'agit de la première recherche et revue systématiques d'études longitudinales rendant compte de l'occurrence des TMS tout en considérant l'effet de l'âge. Nos résultats suggèrent une disparité dans la littérature concernant l'évolution temporelle de l'apparition des TMS, selon la localisation dans le corps et la prise en compte des TMS définis par des échelles de douleur ou d'incapacité auto-déclarées. Dans l'ensemble, les études prenant en compte l'âge ont rapporté soit des changements non monotones, soit des augmentations de la survenue de TMS au fil du temps. Les facteurs autres que le vieillissement qui ont également été suggérés pour expliquer l'évolution des TMS comprennent l'obésité, les expositions

professionnelles et culturelles et la tolérance à la douleur. Le corpus de preuves actuel met cependant en évidence des incertitudes résiduelles, surtout compte tenu du nombre limité d'articles sur ce sujet et du fait que nous n'avons trouvé des articles que dans les pays à haut revenus. Cette revue montre notamment le type de recherches et de données qui manquent pour anticiper les tendances temporelles des TMS. Nous avons également montré que dans les articles inclus, les tendances temporelles des TMS variaient principalement entre augmentation et évolution non monotone selon leur localisation, leur sévérité et leur âge.

## 11. Article

Downloaded from [www.sjweh.fi](http://www.sjweh.fi) on November 02, 2022



Scand J Work Environ Health 2022;48(4):253-263

Published online: 08 Mar 2022, Issue date: 01 May 2022

doi:10.5271/sjweh.4018

### **Can we distinguish the roles of demographic and temporal changes in the incidence and prevalence of musculoskeletal disorders? A systematic review**

by [Bouziri H](#), [Descatha A](#), [Roquelaure Y](#), [Dab W](#), [Jean K](#)

Exposure to biomechanical, organizational and psychosocial factors changes over time, which implies that they have not necessarily been the same throughout a lifetime. To understand the occurrence of musculoskeletal disorders (MSDs), it is necessary to disentangle the respective role of these changes and age. This review highlighted a scarcity of evidence regarding time trends in the burden of MSDs and their underlying causes.

**Affiliation:** Hanifa Bouziri, Laboratoire MESuRS, Conservatoire national des Arts et Métiers (Cnam), Paris, France. [hanifa.bouziri@lecnam.net](mailto:hanifa.bouziri@lecnam.net)

Refers to the following text of the Journal: [2018;44\(2\):113-133](#)

**Key terms:** [chronic disease](#); [demographic change](#); [epidemiology](#); [musculoskeletal disorder](#); [musculoskeletal pain](#); [occupational health](#); [occupational health](#); [systematic review](#); [temporal change](#); [temporal trend](#)

This article in PubMed: [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35260910](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35260910)

#### **Additional material**

Please note that there is additional material available belonging to this article on the [Scandinavian Journal of Work, Environment & Health -website](#).



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Print ISSN: 0355-3140 Electronic ISSN: 1795-990X



## Can we distinguish the roles of demographic and temporal changes in the incidence and prevalence of musculoskeletal disorders? A systematic review

by Hanifa Bouziri, MSc, MPH,<sup>1</sup> Alexis Descatha, MD, PhD,<sup>2</sup> Yves Roquelaure, MD, PhD,<sup>2</sup> William Dab, MD, PhD,<sup>1</sup> Kévin Jean, PhD<sup>1,3</sup>

Bouziri H, Descatha A, Roquelaure Y, Dab W, Jean K. Can we distinguish the roles of demographic and temporal changes in the incidence and prevalence of musculoskeletal disorders? A systematic review. *Scand J Work Environ Health*. 2022;48(4):253–263. doi:10.5271/sjweh.4018

**Objectives** Musculoskeletal disorders (MSD) represent a major public health issue, affecting more than 40 million European workers in 2017. The overall aging of the working population is expected to increase the burden of disease, but temporal changes in exposures or diagnosis may also drive the global trends in MSD. We therefore conducted a systematic review to summarize the evidence on the role of demographic and temporal changes in the occurrence of MSD.

**Methods** We conducted a systematic review of articles reporting temporal trends in MSD in the general working-age population. Only articles controlling for age in the analysis were included. The risk of bias was assessed. The main indicators extracted were age-controlled time trends in MSD incidence or prevalence.

**Results** Among 966 articles, 16 fulfilled the inclusion criteria, representing 23 results according to the indicators extracted. No study was found with a high risk of bias. Results presenting time trends in prevalence were found in 12 studies and incidence in 11. After controlling for age, the reported temporal trends varied, mostly between non-monotonic changes (N=12/23) and increases (N=10/23). One article also highlighted an increase among women and non-monotonic changes among men (N=1/23). Several factors other than aging were suggested to explain temporal trends in MSD, mainly trends in obesity, changing occupational exposures, and cultural factors regarding pain tolerance.

**Conclusion** This review shows that different kind of factors in addition to aging may contribute to varying or increasing trends in MSD. This review also highlighted the scarcity of evidence regarding time trends in the burden of MSD and their underlying causes.

**Key terms** epidemiology; chronic disease; musculoskeletal pain; occupational health; temporal trend.

Musculoskeletal disorders (MSD) affected more than 40 million workers in Europe in 2017 and were the leading contributors to disability worldwide in 2019 (1, 2). These conditions refer to a group of painful disorders of muscles, tendons, and nerves. The causes of MSD are multifactorial and notably can be induced by occupational, biomechanical and psychosocial risk factors (3). Since the 1970s, there have been many changes in working conditions, catalyzed most notably by increased digitization across a range of professions, and widespread reinforcement of preventive actions has redistributed the risk factors of MSD (4–6). There

has also been an increase in employment in the service sector, which contributes to changes in the patterns of exposure to hazards at work (1). The combined effects of these occupational changes on the temporal evolution of MSD are thus challenging to assess. In addition, the aging of the workforce could have implications for the increasing risk of chronic diseases like MSD (6, 7). In particular, the rising average age of workers in many high-income countries may increase the risk of MSD in the absence of preventive action. This owes in part to degenerative phenomena linked to the aging process itself, which induces a reduction in biomechanical toler-

<sup>1</sup> Laboratoire MESuRS, Conservatoire national des Arts et Métiers (Cnam), Paris, France.

<sup>2</sup> Inserm, EHESP, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail) – UMR\_S 1085, Univ Angers, Univ Rennes, 28 Roger Amsler, CS 74521, 49045 Anger, Cedex 01, France.

<sup>3</sup> MRC Centre for Global Infectious Disease Analysis, Department of Infectious Disease Epidemiology, Imperial College London, United Kingdom.

Correspondence to: Hanifa Bouziri, Laboratoire MESuRS, Conservatoire national des Arts et Métiers (Cnam), Paris, France. [E-mail: hanifa.bouziri@lecnam.net]



ance to repetitive and/or prolonged loading, and in part to prolonged exposure to residual biomechanical stresses and psychosocial risks accumulated during increasingly long careers (3).

Exposures to leading occupational risk factors of MSD, such as biomechanical, organizational, and psychosocial factors, have evolved heterogeneously over time (8–11). Consequently, successive cohorts of workers have not been exposed to MSD risk factors with the same intensity and frequency throughout their lives. Moreover, risk factors of MSD and their changes over time have mainly been studied individually or by family (eg, biomechanical, organizational, psychosocial), but a global view of their simultaneous change over time is still lacking. Disentangling the respective roles of age and temporal evolution in exposure to risk factors on the occurrence of MSD is thus needed to understand current trends and design adapted prevention policies (3–14). Furthermore, understanding the evolution of exposures over time while accounting for age would allow for more accurate prediction of future trends in MSD and help to prevent and control their occurrence (15, 16).

The objective of this study was to collate and review the existing evidence on the respective roles of demographic and temporal changes in the occurrence of MSD. We used the systematic search and review methodology as previously described by Grant & Booth (17). This type of review consists of combining a systematic search method with a critical review analysis and is used to answer broad questions while often incorporating multiple study designs.

## Methods

### Search strategy

The study protocol was registered in PROSPERO (CRD42020221499) (18). This protocol is consistent with the Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-analysis (PRISMA) guidelines (19, 21). A detailed PRISMA 2020 checklist is provided in the supplementary material ([www.sjweh.fi/article/4018](http://www.sjweh.fi/article/4018)), table S1. Any modification of the methods stated in the original protocol was registered in PROSPERO (see the reference mentioned before).

### Literature search

We searched four different electronic bibliographic databases for studies published between 1990 and 2020: Medline, ScienceDirect, Wiley, and Web of Science. The last source searched or consulted was checked in November 2020. Details of the search strategy used for

each database are provided in supplementary table S2, including the algorithms of keywords used, the number of results and the articles preselected for screening.

### Inclusion and exclusion criteria

For the article identification step, when the databases allowed, we automatically excluded results related to topics not relevant for our search, such as studies involving animals, molecular biology, immunology studies or clinical case reports.

Then, a first round of selective screening was carried out based on titles and abstracts (step 1). Only original articles were included; conference reports, literature reviews, and editorials were excluded. At this stage, only articles that reported MSD or MSD proxy outcomes while mentioning the notion of temporal trends were included.

In the full-text assessment (step 2), articles defining MSD as a group or set of diseases localized at or around the joints (wrists, elbows, shoulders, spine, or knees) were selected. The pathologies considered here concerned the muscles, tendons and tendon sheaths, nerves, bursae, joints, ligaments, at the periphery of the joints of the upper limbs, the spine, and the lower limbs. We excluded MSD defined as a joint manifestation of organic diseases (eg, psoriasis, lupus, gout, etc.) or as the joint location of systemic inflammatory origins (eg, secondary osteoarthritis). At this step, only articles reporting temporal trends in incidence and/or prevalence in MSD while controlling for age were selected. We included studies conducted among the working-age population. Studies of people under 18 and unpaid domestic workers were excluded. The prevalence or incidence of MSD over time that only address the average over a single period were also excluded.

### Screening

The Covidence Systematic Review software allowed the selection of studies, their download, and the removal of duplicates (22). Two independent authors performed both steps 1 and 2 to assess the eligibility of studies identified in the databases. A third senior researcher resolved any conflict in article screening or full-text assessment.

### Data extraction

All articles included were read for the identification and extraction of the following characteristics: geographic location, population studied, study design and recruitment criteria, start and end date of follow-up, MSD sites (superior limbs, inferior limbs & back, or not specified), criteria used for MSD definition (either based on pain or on disability), and the method used for MSD diagnosis.

### Assessing risk of bias and quality of evidence

To assess the risk of bias across included studies, we used the RoB-SPEO (23) and the Navigator guide tool, which we adapted for our study (see supplementary material 4 for methodological details) (24, 25). The biases we assessed were selection bias, potential biases linked to misclassification of MSD, biases due to incorrectly taking confounding factors into account, and bias due to potential conflict of interest. Each article has been classified according to its level of bias (low, probably low, probably high, high). We also assessed the quality of the statistical trends tested by using the following classification: satisfactory quality, probably satisfactory quality, probably unsatisfactory quality, unsatisfactory quality. Further details on the criteria and classifications used for the risk of bias and quality of evidence assessment are available in supplementary material S4.

### Analysis of the temporal trends of the occurrence of MSD

The following data were extracted from each article: the raw temporal trends of MSD prevalence and/or incidence (if reported), information concerning methods used to control for age, and MSD prevalence and/or incidence over time after controlling for age. For each article, the temporal trends in MSD prevalence and/or incidence were analyzed according to the location and severity of MSD. If an article investigated multiple types of MSD and/or addressed both temporal trends in the prevalence and incidence of MSD, we considered these results independently; therefore, the total number of results could possibly be higher than the number of studies included. We also distinguished two groups of results based on the MSD sites and criteria used for MSD definition, either based on pain or on repercussion on work and/or social life (hereafter called disability). The precise definition of MSD used in each article is provided in supplementary table S3. Temporal changes in MSD prevalence/incidence were summarized according to whether they decreased, varied non-monotonically, or increased.

### Synthesized evidence

For articles reporting both raw and age-adjusted MSD time trends, we compared findings to discern differences between them, and therefore to assess whether it would be possible to dissociate age from time in the occurrence of MSD over time. When mentioned, we summarized the interpretations and hypotheses proposed to explain observed temporal trends in MSD prevalence/incidence.

## Results

### Studies selected

A total of 2680 study records were identified through our systematic search, of which 1977 were excluded, 335 were duplicates, and 1642 were deemed irrelevant as per automatic categorization tools provided by some databases (figure 1). A further 658 records were excluded after title and abstract screening because they did not present original results and/or did not report results based on MSD and/or did not address temporal trends in their occurrence. Of the 45 fulltext articles assessed for eligibility, 29 were classified as ineligible, 13 of which because they did not control for age in reported indicators. A total of 16 studies fulfilled all eligibility criteria and were thus included in the review.

### General study characteristics

The 16 articles included in the present review were published between 2003 and 2020 (table 1), 12 of which were published after 2010. Overall, the studies were conducted in three geographic areas: 12 in Europe (among which 5 were in Scandinavian countries), 3 in the USA, and 1 in Australia. The duration of the study period ranged from 10–55 years across studies. In 8 studies, sampled populations were used (3 cohort designs, 5 repeated cross-sectional studies), representing a total of 1 387 930 individual working-age adults. Among these, 2 focused on the male population only. The other 8 studies relied on a time-series design based on surveillance data collected within five countries and one subnational administrative area.

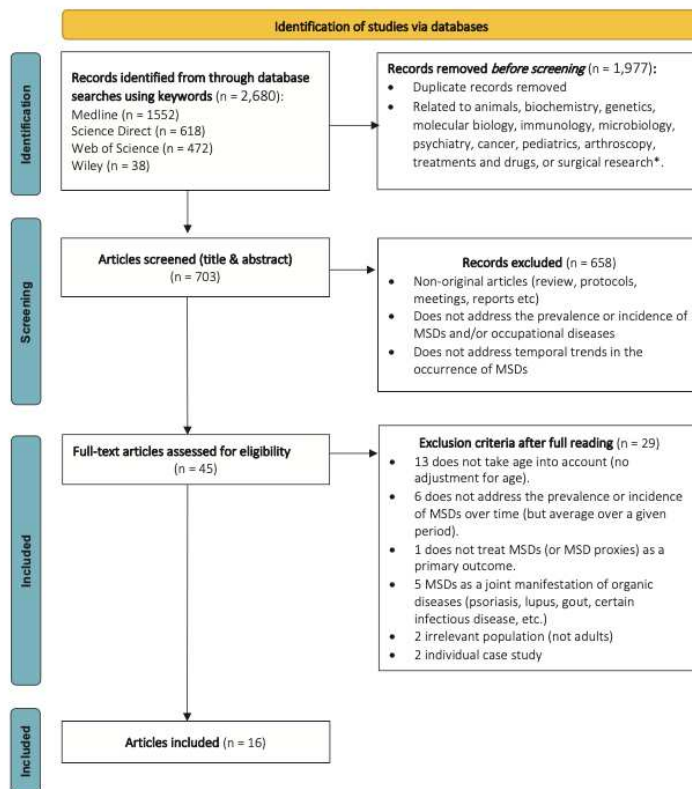
The recruitment of individuals for repeated cross-sectional studies was carried out from household-based sampling designs. Among cohort studies, 1 article relied on the recruitment of hospital-based participants, 1 recruited participants from occupational health records, and 1 recruited participants from previous surveys completed at home. Most of the time-series studies relied on hospital-based surveillance systems (5 out of 8 articles).

Of the articles included, 5 defined MSD based on pain, and 11 defined them according to a disability. These 11 articles relying on a disability-related MSD definition were conducted in the Scandinavian countries, the UK, and Australia. Among those, the site of MSD was not specified for 8 articles, 2 articles considered MSD affecting the inferior limbs and the back, and 1 considered MSD affecting the superior limbs.

### Risk of bias and quality of the studies

The studies selected were mainly carried out on the general working population, and the risk of selection bias was





**Figure 1.** Flow chart diagram of study selection using PRISMAFlowDiagram recommendations.\*Automatically excluded when the classification tools of the database allowed. Inspired by Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71. For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org>

considered low or probably low for all studies. Overall, study participants were carefully selected based on a well-defined sampling strategy based on random selection from a national longitudinal or cross-sectional survey.

We considered MSD based on medical diagnosis to be reliable. We classified both MSD based on the medical diagnosis and/or disability at low risk of bias. MSD defined based on pain were classified as a probably low risk of bias. For the studies which administered a questionnaire, we considered that they probably had low bias since it is a good method for detecting chronic pain and disability in the individuals recruited. Studies dealing with temporal trends in MSD by controlling for age and then for other factors were considered at low risk of bias for the confounding factors. Studies not taking other potential confounders were considered likely to be at low risk of bias since here we are only looking at temporal trends in MSD. In the included studies, most of the study authors did not declare a conflict of interest, nor did they receive any support from a company suggesting that there could be a financial interest in the results. Therefore, we assessed these studies as having a low risk of bias in this area. For the studies not clearly mentioning it in the paper, we verified that all the authors were affiliated with public (research) agencies or scientific institutions and, when this was the case, we considered

that the studies had a low probability of bias. We did not identify any other biases and therefore assessed all studies as having a probable low risk of other biases.

Of 16 studies, 9 included either tests for temporal trends or confidence intervals (CI) for each value of MSD incidence or prevalence over time. These studies were considered to be of satisfactory quality (trends tests, or Chi-squared), or of probable satisfactory quality (95% CI for MSD incidence and/or prevalence). The studies without statistical tests were considered to be of a probable unsatisfactory quality. In general, we did not identify studies where there was a high risk of bias, or where the quality was too low to justify an exclusion from the review (table 2). Additional results regarding classification of bias and evaluation of statistical methods are provided in supplementary material S4.

#### Temporal trends of the incidence and prevalence of MSD

Some studies simultaneously reported results for several MSD and/or indicators (prevalence, incidence), such that the 16 included studies included a total of 23 results extracted for this review. Among these results, 9 used a definition of MSD based on pain and 14 looked at impacts on work or social life. Among all results, 12 presented temporal trends in prevalence and 11 in

**Table 1.** Summary of articles reporting temporal trends in occurrence of musculoskeletal disorders (MSD).

Reference & country	Recruitment	Period	Population	MSD type	Diagnosis	Raw time trends	Time trends <sup>a</sup>	Dealing with age	Interpretation for age specific time trends
<b>3 cohort studies</b>									
Guido et al, 2020 (29) Europe 17 studies	Variable	1991–2015 (24 years)	General population 660 028 individuals	All pain including MSD	Self-reported	Untreated	Prevalence: increase	Age-period-cohort (ACP)	Evolving perception of pain that can be explained by cultural or biological changes (in patients and practitioners).
Söderberg et al, 2020 (34) Sweden	National occupational health service	1977–2010 (33 years)	389 132 individuals Construction workers (male 20–60 years)	Disability pension caused by MSD	Medical exam	Incidence: variable	Incidence: variable	Stratified ages	Changes in welfare legislation (pension eligibility criteria) rather than underlying exposures.
Solomon et al, 2007 (48) UK	Household	1949–2004 (55 years)	34 486 men from rural areas	MSD-related job loss	Questionnaire	Untreated	Incidence: increased	Adjusted	Acceptance of evolving occupational diseases that can be explained by cultural changes (in patients and practitioners).
<b>5 repeat cross-sectional studies</b>									
Dick et al, 2020 (32) US	Household	2002–2014 (12 years)	General population 5135 individuals	Back pain  Pain in arms	Questionnaire	Prevalence: Decrease  Prevalence: Decrease	Prevalence: variable. Decrease until 54 years, 55–64: variable >65: Increase  Prevalence: variable. Decrease until 54 years, 55–64: variable >65: Increase	Adjusted	Associated with psychosocial and organizational factors at work
Großschädl et al, 2014 (28) Austria	Household	1973–2007 (34 years)	General population 64 052 individuals	Back pain	Self-reported	Untreated	Prevalence: increase	Standardization	Linked to workload, sedentary activities, BMI and obesity, evolving perception of pain, and cultural changes
Martin et al, 2014 (49) US	Household	1997–2010 (13 years)	General population ≥40 years 78 328 Individuals	Back pain Neck pain Other MSD	Questionnaire	Untreated Untreated Untreated	Prevalence: variable Prevalence: variable Prevalence: variable	Adjusted	Linked with BMI & obesity
Jimenez-Sanchez et al, 2010 (50) Spain	Household	1993–2006 (13 years)	General population 92 893 individuals	Invalidating MS pain	Self-reported	Prevalence: variable	Prevalence: Bell curve (peaked in 2001)	Stratified	Absence of hypothesis
Leijon et al, 2009 (51) Sweden	Household	1990–2006 (16 years)	General population 63 876 individuals	Low back pain	Self-reported	Untreated	Prevalence: variable	Direct standardization	Linked to increased professional or economic pressure and/or resulting from cultural changes (in media)
<b>8 time-series studies</b>									
Ackerman et al, 2019 (52) Australia	Medical records	2003–2013 (10 years)	General population	Hip arthroplasties Knee replacements	Medical exam	Untreated Untreated	Incidence: increase Incidence: increase	Stratified ages	Linked with BMI & obesity
Gelfman et al, 2009 (53) US	Medical record	1981–2005 (24 years)	General population (Olmsted County, Minnesota)	Carpal tunnel syndrome (CTS)	Medical records	Untreated	Incidence: increase	Direct standardization	Greater awareness of CTS among the general population and increasing proportion of at-risk occupations
Holte et al, 2003 (30) Norway	Administrative records (pensions)	1968–1997 (29 years)	General population	Disability pension: RA, OA, soft tissue rheumatism	Medical exam	Untreated	Incidence: increase among women, bell-shaped among men (peaked in the 80s)	Stratified ages	Linked to an increased general demand for fitness or changes in pain perception explained by cultural changes
Paloneva et al, 2015 (33) Finland	Hospital record & surgery	1998–2011 (13 years)	General population	Open and arthroscopic rotator cuff repair	Medical exam & surgery	Untreated	Incidence: increase	Stratified ages	Medical and technical advances leading to improved access to diagnosis and surgery

Continues

**Table 1.** Continued

Reference & country	Recruitment	Period	Population	MSD type	Diagnosis	Raw time trends	Time trends <sup>a</sup>	Dealing with age	Interpretation for age specific time trends
Pekkala et al, 2017 (26) Finland	Administrative records (sickness insurance)	2005–2014 (9 years)	General population (25–64 yrs.)	Sickness absence due to MSD	Medical exam	Untreated	Prevalence: decrease	Adjusted	Probably linked to the alleviation of the physical demands of the work and better occupational health safety
Spitaels et al, 2020 (27) Belgium	General practitioners (primary aid) from a network of registers.	1992–2013 (21 years)	General population	Knee osteoarthritis	Medical exam	Incidence: U shape Prevalence: increase	Incidence: U shape Prevalence: increase	Standardized and stratified	Linked to BMI & obesity, better access to diagnosis, surgery and preventive medicine, and cultural changes (in patients and practitioners)
Swain et al, 2020 (54) UK	GP hospitals medical record	1997–2017 (20 years)	General population	Osteoarthritis	Medical exam	Incidence: bell curve Prevalence: augmentation	Incidence: bell curve (peaked in 2004–2005) Prevalence: increase	Direct standardization and ACP	Cultural changes in practitioners; cohort effect among people born after the 1960s, who may be less exposed to very physically demanding occupations
Yu et al, 2017 (31) UK	Medical records (primary care)	1992–2013 (21 years)	General population	Clinical osteoarthritis	Medical exam	Variable	Incidence: increase	Standardized and ACP	Similar trends in obesity, a risk factor for OA, and the increased reporting of painful symptoms

<sup>a</sup>Taking into account the age

**Table 2.** Summary of risk of bias and quality across studies on temporal trends of musculoskeletal disorders (MSD). [L=low; PL=probably low; PH=probably high; H=high; SQ=satisfactory quality; PSQ=probable satisfactory quality; PUS=probable unsatisfactory quality].

	Bias in selection of study participants	Bias due to misclassification of MSD	Bias due to poor consideration of confounding factors	Bias due to conflict of interest	Other biases	Quality of the statistical trend tests
Ackerman et al, 2019 (52)	L	L	L	L	PL	PUS
Dick et al, 2020 (32)	L	PL	L	L	PL	PSQ
Gelfman et al, 2009 (53)	L	L	L	PL	PL	PSQ
Großschädl et al, 2014 (28)	L	PL	L	L	PL	PUS
Guido et al, 2020 (29)	L	PL	L	L	PL	SQ
Holte et al, 2003 (30)	L	L	L	PL	PL	PUS
Jimenez-Sanchez et al, 2010 (50)	L	PL	L	PL	PL	SQ
Leijon et al, 2009 (51)	L	PL	L	L	PL	PSQ
Martin et al, 2014 (49)	L	PL	L	PL	PL	SQ
Paloneva et al, 2015 (33)	L	L	L	L	PL	PUS
Pekkala et al, 2017 (26)	L	L	L	L	PL	SQ
Söderberg et al, 2020 (34)	L	PL	PL	L	PL	PUS
Solomon et al, 2007 (48)	PL	PL	PL	L	PL	PUS
Spitaels et al, 2020 (27)	L	L	L	L	PL	SQ
Swain et al, 2020 (54)	L	L	PL	L	PL	PUS
Yu et al, 2017 (31)	L	L	L	L	PL	PSQ

incidence. The variability of the definitions of MSD and body sites studied in the articles of our sample precludes meta-analysis and calculation of pooled estimates of temporal trends. Five studies controlled for age in time trends in MSD by stratification, 4 by adjustment, 3 by standardizations, 3 by direct standardization, and 3 by age-period cohort (see table 1).

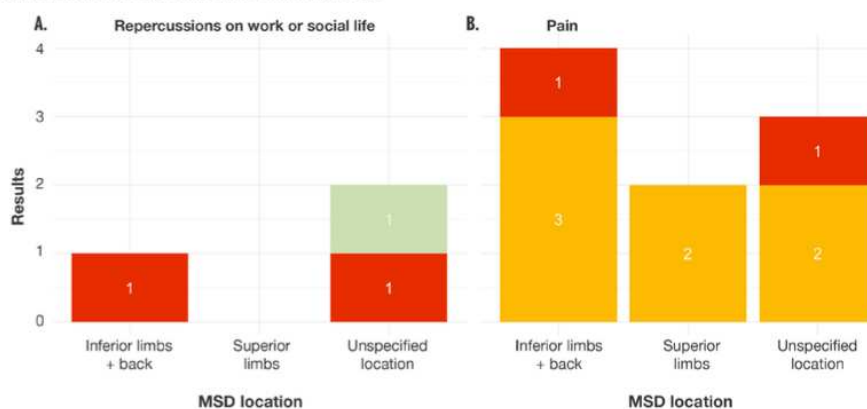
Among the 3 articles defining MSD prevalence based on disability (26), 1 showed that absences due to MSD decreased over time after adjusting for age. Two articles reported an increase in MSD over time, 1 of which reported increases in knee osteoarthritis (27), while the other reported increases in osteoarthritis (28) (figure 2A). Among the 9 results based on pain-related

MSD definition, 7 showed non-monotonic change over time, and 2 reported increasing trends [Großschädl et al (28) for lower back pain, and Guido et al (29) for pain in all locations] (figure 2B). These results demonstrate heterogeneity in MSD time trends, including both increases and non-monotonic changes (table 1).

The temporal evolution of the incidence of MSD causing disability also tended to increase or vary according to their site. Among the 6 articles not specifying MSD location, 3 showed variable trends, 2 reported increases over time and 1 (30) reported sex-specific results, with an increase in women and a bell curve for men. In addition, 2 reported an increase over time in MSD located in superior limbs. For the inferior limbs



Temporal trend of MSD prevalence after considering for age



**Figure 2.** Temporal trends of the incidence and prevalence of MSD according to their location and severity.

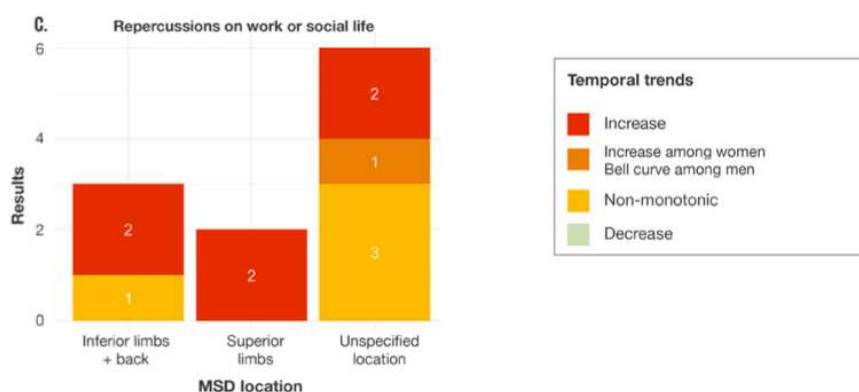
2A. Temporal trend of the prevalence of MSD inducing repercussions on work or social life with age considerations.

2B. Temporal trend of the prevalence of pain with age considerations.

2C. Temporal trend of the incidence of MSD inducing repercussions on work or social life with age considerations.

Unspecified location refers to MSD that were not associated with a specified body site.

Temporal trend of MSD incidence after considering for age



and the back, 2 articles showed an increase in MSD, and 1 reported a variable evolution of MSD (figure 2C and table 1).

### Synthesized evidence

We note that few articles analyzed temporal variations in MSD while controlling for age.

Controlling or not controlling for age may produce divergent pictures of temporal trends in specific MSD. In the article by Yu et al (31), the raw data suggested non-monotonic changes in osteoarthritis incidence over time, whereas increased incidence was observed when standardizing for age. In the article by Dick et al (32), the unadjusted prevalence of back and hand pain decreased over time. After adjusting for age, decreased prevalence was still observed among people <55 years, but variable time trends were observed for those aged 55–64 years, and an increase was observed for those ≥65 years. Thus, these results highlight potentially distinct impacts of age and time in the occurrence of MSD, at least for older age categories.

Fifteen articles suggested that factors other than aging could explain temporal MSD trends (table 1). Regardless of the trends observed, most articles hypothesized a link between cultural changes around the perception of pain (in both caregivers and patients), and a better knowledge of pathologies with improvements in detection and treatment techniques (29–33). We also noticed that five articles related the trends they reported in MSD to similar temporal trends in obesity and body mass index. Additionally, Dick et al (32) suggested that changes in psychosocial and organizational factors at work could explain the non-monotonic trends that they observed between 2002 and 2014. Söderberg et al (34) suggested that the non-monotonic trends they reported reflected changes in disability eligibility criteria rather than in the underlying exposures. Finally, the only article which reported a decrease in the instances of sick leave due to MSD (26) explained it by a probable reduction in the physical demands of work and better health and safety at work.

## Discussion

This literature review identified a limited number of articles reporting temporal trends in MSD while controlling for age. Study duration ranged from 10–55 years, which allowed for longitudinal analysis of MSD occurrence. Temporal trends in MSD varied according to the site of the MSD, the criteria used to define MSD (either associated with pain and/or a disability), and the indicator used (prevalence or incidence). We observed temporal heterogeneity in the occurrence of MSD considered, with mainly non-monotonic or increasing trends reported. Of note, based on studies reporting both crude and age-controlled indicators, we observed that accounting or not accounting for age could lead to diverging temporal trends, at least among the highest age categories.

This literature review identified some important gaps and residual uncertainty in the evidence currently available. First, although our inclusion criteria were broad, the systematic review only identified studies conducted in Western, high-income countries: USA, Europe (especially Scandinavian countries), and Australia. This lack of evidence considering the burden of MSD and their socioeconomic implications does not allow us to provide an interpretation of the evolution of MSD among the global working population (35).

Occurrence of the different groups of MSD considered in this review (pain versus disability) varied over time depending on the indicator considered (prevalence versus incidence). To diagnose the occurrence of MSD, several scales allow for quickly and easily assessing pain intensity (visual analog pain scale, simple numeric scale, simple verbal scale) (36, 37). It is important to note, however, that although the validity of these diagnostic tests is comparable in educated patients, those who are less or uneducated may be led to answer differently. These scales do not allow for a complete assessment of the pain component, but they can allow for repeated self-assessments since they are very quick to complete. It is also possible that the pain reported by patients responds more quickly to changes in working conditions or other factors (such as cultural changes) than do longer disabling pathologies. Therefore, we must remain cautious about our interpretations of temporal changes in the occurrence of MSD, depending on whether the observed outcome relates to self-reported pain or more disabling pathologies diagnosed by doctors (38). Pain classification measurements must therefore include aspects such as the severity, frequency, and intensity of pain as well as measurements of changes in working conditions (39).

We hypothesize that observed heterogeneity in temporal trends of MSD occurrence results from temporal heterogeneity in the evolution of MSD risk factors in different populations. In most of the countries covered by this review, a fundamental change in the tertiariza-

tion of work has been observed, resulting in an overall reduction in occupational physical constraints (40, 41). However, a reduction in MSD is not systematically expected from decreased exposure to biomechanical factors. The analyses from the ESTEV survey (42) show in particular that the viscoelastic nature of periarticular soft tissues can also play a role in the occurrence of low back pain. Thus, prolonged exposure from carrying heavy loads can potentially cause an irreversible deformation of these tissues (“memory of the exposure” or “creep phenomenon”), which may explain the fact that, in older age groups, some MSD have not decreased despite decreased biomechanical exposures. Moreover, a decrease in occupational physical constraints may have arisen concomitantly with an increase in work-related mental load, which can also play a significant role in the occurrence of MSD (8, 43).

The main limitation of this review results from the fact that we exclusively searched electronic bibliometric databases of scientific literature. This means that we did not consult the gray literature or governmental reports on MSD that were not peer-reviewed by external readers. Another limitation is that, since we used the generic term musculoskeletal disorders/disease as a keyword, it is possible that we missed articles on specific MSD that did not mention the term MSD in the abstract or key terms. Lastly, variability in MSD definitions and body sites among our study sample prevented us from conducting a meta-analysis and computing pooled estimates of time trends.

Finally, we do not have studies capturing MSD data during the health crisis linked to the COVID-19 pandemic. This sanitary situation could possibly be at the origin of the evolution and emergence of certain professions which can potentially be at the origin of changes in the occurrence of MSD (telework and bad postures, sedentary habits, intensification of work, work on task linked to a digital platform, increased deliveries carrying heavy loads at reduced times, stress, etc.) (44–46). In the future, longitudinal data that can capture this information could be an interesting addition to the interpretation and understanding of the occurrence of MSD over time (47).

## Concluding remarks

To our knowledge, this is the first systematic search and review of studies reporting on MSD occurrence while accounting for the key confounding impact of age. Our findings suggest disparity in the literature regarding the temporal evolution of MSD occurrence, depending on the site of the MSD and whether accounting for MSD defined by scales of self-reported pain or disability. Overall, studies controlling for age reported either non-monotonic changes or increases in MSD occurrence



over time. Factors other than aging that have also been suggested to underlie temporal changes in MSD occurrence include changes in obesity, occupational and cultural exposures, and pain tolerance. The current body of evidence, however, highlights residual uncertainties, especially given the limited number of articles on this subject and the fact that we only found articles in wealthy countries. Notably, this review demonstrates the type of research and data that are lacking to anticipate the temporal trends in the MSD occurrence, which is an important question in terms of prevention. We also showed that in the included articles, the temporal trends of MSD varied mainly between increase and non-monotonic changes depending on their site, severity, and age.

### Acknowledgments

The authors are responsible for the opinions expressed in this article, and they do not necessarily represent the views, decisions, or policies of the institutions with which they are affiliated. We also would like to thank David R M Smith for his precious help and careful proofreading of our work.

The authors declare no competing interests and acknowledge funding from the Cnam-Malakoff Humanis “Corporations and Health” Chair. The funder had no role in the study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

### References

1. Annual Activity Report 2020 - Safety and health at work - EU-OSHA [Internet]. [cited 2021 Jul 9]. Available from: <https://osha.europa.eu/en/publications/annual-activity-report-2020-0/view>.
2. Musculoskeletal conditions [Internet]. [cited 2020 Oct 27]. Available from: <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/musculoskeletal-conditions>.
3. Roquelaure Y. Musculoskeletal disorders and psychosocial factors at work [Internet]. [Internet]. Brussels: European Trade Union Institute (ETUI); 2018 p. 82. Report No.: 142. Available from: <https://www.etui.org/sites/default/files/EN-Report-142-MSD-Roquelaure-WEB.pdf>.
4. Carayon P, Smith MJ, Haims MC. Work organization, job stress, and work-related musculoskeletal disorders. *Hum Factors* 1999 Dec;41(4):644–63. <https://doi.org/10.1518/001872099779656743>
5. The Impact of Musculoskeletal Disorders on Americans – Opportunities for Action | Scoliosis Research Society [Internet]. [cited 2020 Oct 27]. Available from: <https://www.srs.org/about-srs/news-and-announcements/the-impact-of-musculoskeletal-disorders-on-americans--opportunities-for-action>.
6. Stock SR, Nicolakakis N, Vézina N, Vézina M, Gilbert L, Turcot A et al. Are work organization interventions effective in preventing or reducing work-related musculoskeletal disorders? A systematic review of the literature. *Scand J Work Environ Health* 2018 Mar;44(2):113–33. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3696>.
7. Linaker C, Harris EC, Cooper C, Coggon D, Palmer KT. The burden of sickness absence from musculoskeletal causes in Great Britain. *Occup Med (Lond)* 2011 Oct;61(7):458–64. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqr061>.
8. Niedhammer I, Milner A, LaMontagne AD, Chastang JF. Study of the validity of a job-exposure matrix for the job strain model factors: an update and a study of changes over time. *Int Arch Occup Environ Health* 2018 Jul;91(5):523–36. <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1299-2>.
9. Bao SS, Kapellusch JM, Merryweather AS, Thiese MS, Garg A, Hegmann KT et al. Relationships between job organisational factors, biomechanical and psychosocial exposures. *Ergonomics* 2016;59(2):179–94. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1065347>.
10. Roquelaure Y, Garlantézec R, Evanoff BA, Descatha A, Fassier JB, Bodin J. Personal, biomechanical, psychosocial, and organizational risk factors for carpal tunnel syndrome: a structural equation modeling approach. *Pain* 2020 Apr;161(4):749–57. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001766>.
11. Harris-Adamson C, Eisen EA, Neophytou A, Kapellusch J, Garg A, Hegmann KT et al. Biomechanical and psychosocial exposures are independent risk factors for carpal tunnel syndrome: assessment of confounding using causal diagrams. *Occup Environ Med* 2016 Nov;73(11):727–34. <https://doi.org/10.1136/oemed-2016-103634>.
12. Storheim K, Zwart JA. Musculoskeletal disorders and the Global Burden of Disease study. *Ann Rheum Dis* 2014 Jun;73(6):949–50. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2014-205327>.
13. Briggs AM, Shiffman J, Shawar YR, Åkesson K, Ali N, Woolf AD. Global health policy in the 21st century: Challenges and opportunities to arrest the global disability burden from musculoskeletal health conditions. *Best Pract Res Clin Rheumatol* [Internet]. 2020 Jul 23 [cited 2020 Oct 29]; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7377715/>.
14. Brennan-Olsen SL, Cook S, Leech MT, Bowe SJ, Kowal P, Naidoo N et al. Prevalence of arthritis according to age, sex and socioeconomic status in six low and middle income countries: analysis of data from the World Health Organization study on global AGEing and adult health (SAGE) Wave 1. *BMC Musculoskelet Disord* 2017 Jun;18(1):271. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1624-z>.
15. Notenbomer A, van Rhenen W, Groothoff JW, Roelen CA. Predicting long-term sickness absence among employees with frequent sickness absence. *Int Arch Occup Environ Health* 2019 May;92(4):501–11. <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1384-6>.



16. WHO. | Integrated chronic disease prevention and control [Internet]. WHO. World Health Organization; [cited 2020 Oct 27]. Available from: [https://www.who.int/chp/about/integrated\\_cd/en/](https://www.who.int/chp/about/integrated_cd/en/).
17. Grant MJ, Booth A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Info Libr J* 2009 Jun;26(2):91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>.
18. Bouziri H, Dab W, Jean K, Descatha A. Protocol (CRD42020221499). 2020 [Internet]. [https://www.crd.york.ac.uk/prospero/display\\_record.php?ID=CRD42020221499](https://www.crd.york.ac.uk/prospero/display_record.php?ID=CRD42020221499). 2020 [cited 2022 Feb 7].
19. Shamseer L, Moher D, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M et al.; PRISMA-P Group. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ* 2015 Jan;350:g7647. <https://doi.org/10.1136/bmj.g7647>.
20. Beller EM, Glasziou PP, Altman DG, Hopewell S, Bastian H, Chalmers I et al.; PRISMA for Abstracts Group. PRISMA for Abstracts: reporting systematic reviews in journal and conference abstracts. *PLoS Med* 2013;10(4):e1001419. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001419>.
21. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JP et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Med* 2009 Jul;6(7):e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>.
22. Covidence - Better systematic review management [Internet]. Covidence. [cited 2021 Apr 22]. Available from: <https://www.covidence.org/>.
23. Pega F, Norris SL, Backes C, Bero LA, Descatha A, Gagliardi D et al. RoB-SPEO: A tool for assessing risk of bias in studies estimating the prevalence of exposure to occupational risk factors from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury [Internet]. *Environ Int* 2020 Feb;135:105039. [cited 2021 Apr 16] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7479507/> <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105039>.
24. Descatha A, Sembajwe G, Baer M, Bocconi F, Di Tecco C, Duret C et al. WHO/ILO work-related burden of disease and injury: protocol for systematic reviews of exposure to long working hours and of the effect of exposure to long working hours on stroke. *Environ Int* 2018 Oct;119:366–78. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.06.016>.
25. Woodruff TJ, Sutton P. The Navigation Guide systematic review methodology: a rigorous and transparent method for translating environmental health science into better health outcomes. *Environ Health Perspect* 2014 Oct;122(10):1007–14. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307175>.
26. Pekkala J, Blomgren J, Pietiläinen O, Lahelma E, Rahkonen O. Occupational class differences in diagnostic-specific sickness absence: a register-based study in the Finnish population, 2005–2014 [Internet]. *BMC Public Health* 2017 Aug;17(1):670. [cited 2020 Oct 27] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5568169/> <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4674-0>.
27. Spitaels D, Mamouris P, Vaes B, Smeets M, Luyten F, Hermens R et al. Epidemiology of knee osteoarthritis in general practice: a registry-based study [Internet]. *BMJ Open* 2020 Jan;10(1):e031734. [cited 2020 Oct 29] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7044813/> <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-031734>.
28. Großschädl F, Freidl W, Rásky E, Burkert N, Muckenhuber J, Stronegger WJ. A 35-year trend analysis for back pain in Austria: the role of obesity [Internet]. *PLoS One* 2014 Sep;9(9):e107436. [cited 2020 Oct 29] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4160246/> <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107436>.
29. Guido D, Leonardi M, Mellor-Marsá B, Moneta MV, Sanchez-Niubo A, Tyrovolas S et al. Pain rates in general population for the period 1991–2015 and 10-years prediction: results from a multi-continent age-period-cohort analysis [Internet]. *J Headache Pain* 2020 May;21(1):52. [cited 2020 Oct 29] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7218619/> <https://doi.org/10.1186/s10194-020-01108-3>.
30. Holte HH, Tambs K, Bjerkedal T. Time trends in disability pensioning for rheumatoid arthritis, osteoarthritis and soft tissue rheumatism in Norway 1968–97. *Scand J Public Health* 2003;31(1):17–23. <https://doi.org/10.1080/14034940210165118>.
31. Yu D, Jordan KP, Bedson J, Englund M, Blyth F, Turkiewicz A et al. Population trends in the incidence and initial management of osteoarthritis: age-period-cohort analysis of the Clinical Practice Research Datalink, 1992–2013. *Rheumatology (Oxford)* 2017 Nov;56(11):1902–17. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kex270>.
32. Dick RB, Lowe BD, Lu ML, Krieg EF. Trends in Work-Related Musculoskeletal Disorders From the 2002 to 2014 General Social Survey, Quality of Work Life Supplement. *J Occup Environ Med* 2020 Aug;62(8):595–610. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001895>.
33. Paloneva J, Lepola V, Äärimaa V, Joukainen A, Ylinen J, Mattila VM. Increasing incidence of rotator cuff repairs—A nationwide registry study in Finland [Internet]. *BMC Musculoskelet Disord* 2015 Aug;16:189. [cited 2020 Oct 29] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4531533/> <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0639-6>.
34. Söderberg M, Mannelqvist R, Järvholm B, Schiöler L, Stattin M. Impact of changes in welfare legislation on the incidence of disability pension. A cohort study of construction workers. *Scand J Public Health* 2020 Jun;48(4):405–11. <https://doi.org/10.1177/1403494818754747>.
35. GBD 2016 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Lond Engl*. 2017 Sep;390(10100):1211–59. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32154-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32154-2).



36. Bailly F, Fautrel B, Gossec L. Évaluer la douleur en rhumatologie – comment faire mieux? Revue de la littérature. *Rev Rhum* 2016 Mar;83(2):105–9. <https://doi.org/10.1016/j.rhum.2015.07.013>.
37. Wlodyka-Demaille S, Poiraudou S, Catanzariti JF, Rannou F, Fermanian J, Revel M. The ability to change of three questionnaires for neck pain. *Joint Bone Spine* 2004 Jul;71(4):317–26. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2003.04.004>.
38. Descatha A, Dale AM, Franzblau A, Evanoff B. Natural history and predictors of long-term pain and function among workers with hand symptoms. *Arch Phys Med Rehabil* 2013 Jul;94(7):1293–9. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.01.028>.
39. Hagberg M, Violante FS, Bonfiglioli R, Descatha A, Gold J, Evanoff B et al. Prevention of musculoskeletal disorders in workers: classification and health surveillance - statements of the Scientific Committee on Musculoskeletal Disorders of the International Commission on Occupational Health. *BMC Musculoskelet Disord* 2012 Jun;13(1):109. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-109>.
40. Memmi S. How have the exposures of private sector employees to occupational risks evolved over the last twenty years? First results of the SUMER survey [Comment ont évolué les expositions des salariés aux risques professionnels sur les vingt dernières années? ]. INRS - Occup Health Ref Fr [Internet]. 2019 Sep; N° 159. Available from: <https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/DMT/TI-TF-273/tf273.pdf>.
41. Havet N, Fournier J, Stefanelli J, Plantier M, Penot A. Disparate exposure to physically demanding working conditions in France. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2020 Nov;68(6):327–36. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2020.09.008>.
42. Derrien F, Touranchet A, Volkoff S. Enquête E.S.T.E.V. un instrument d'étude des relations entre âge, santé et travail [Survey ESTEV, a tool for studying the relationship between age, health, and work]. *Arch Mal Prof Med Travail (French)*. 1992;53(2):79–89. Available from <https://bdsp-ehesp.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=56354>
43. Niedhammer I, Lesuffleur T, Memmi S, Chastang JF. Working conditions in the explanation of occupational inequalities in sickness absence in the French SUMER study. *Eur J Public Health* 2017 Dec;27(6):1061–8. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckx052>.
44. Bouziri H, Smith DR, Descatha A, Dab W, Jean K. Working from home in the time of COVID-19: how to best preserve occupational health? *Occup Environ Med* 2020 Jul;77(7):509–10. <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-106599>.
45. Lord P. Changing world, changing work. *Contemp Soc Sci* 2020 Oct;15(4):407–15. <https://doi.org/10.1080/21582041.2020.1812707>.
46. Schulte PA, Streit JM, Sheriff F, Delclos G, Felknor SA, Tamers SL et al. Potential Scenarios and Hazards in the Work of the Future: A Systematic Review of the Peer-Reviewed and Gray Literatures. *Ann Work Expo Health* 2020 Oct;64(8):786–816. <https://doi.org/10.1093/annweh/vxaa051>.
47. ACUNA T. Impact of the Covid-19 confinement measures on telework in France - A qualitative survey [Internet]. EU Science Hub - European Commission. 2020 [cited 2021 May 6]. Available from: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/impact-covid-19-confinement-measures-telework-france-qualitative-survey>.
48. Solomon C, Poole J, Palmer KT, Coggon D. Health-related job loss: findings from a community-based survey. *Occup Environ Med* 2007 Mar;64(3):144–9. <https://doi.org/10.1136/oem.2005.024257>.
49. Martin LG, Schoeni RF. Trends in Disability and Related Chronic Conditions Among the Forty-and-Over Population: 1997–2010. *Disabil Health J*. 2014 Jan;7(1 0):S4–14.
50. Jiménez-Sánchez S, Jiménez-García R, Hernández-Barrera V, Villanueva-Martínez M, Ríos-Luna A, Fernández-de-las-Peñas C. Has the prevalence of invalidating musculoskeletal pain changed over the last 15 years (1993–2006)? A Spanish population-based survey. *J Pain* 2010 Jul;11(7):612–20. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2009.09.015>.
51. Leijon O, Mulder M. Prevalence of low back pain and concurrent psychological distress over a 16-year period. *Occup Environ Med* 2009 Feb;66(2):137–9. <https://doi.org/10.1136/oem.2008.040337>.
52. Ackerman IN, Bohensky MA, Zomer E, Tacey M, Gorelik A, Brand CA et al. The projected burden of primary total knee and hip replacement for osteoarthritis in Australia to the year 2030 [Internet]. *BMC Musculoskelet Disord* 2019 Feb;20(1):90. [cited 2020 Nov 20] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6387488/> <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2411-9>.
53. Gelfman R, Melton LJ 3rd, Yawn BP, Wollan PC, Amadio PC, Stevens JC. Long-term trends in carpal tunnel syndrome. *Neurology* 2009 Jan;72(1):33–41. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000338533.88960.b9>.
54. Swain S, Sarmanova A, Mallen C, Kuo CF, Coupland C, Doherty M et al. Trends in incidence and prevalence of osteoarthritis in the United Kingdom: findings from the Clinical Practice Research Datalink (CPRD). *Osteoarthritis Cartilage* 2020 Jun;28(6):792–801. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2020.03.004>.

Received for publication: 27 October 2021

# Can we distinguish the roles of demographic and temporal changes in the incidence and prevalence of musculoskeletal disorders? A systematic review<sup>1</sup>

by Hanifa Bouziri, MSc, MPH,<sup>2</sup> Alexis Descatha, MD, PhD,<sup>2</sup> Yves Roquelaure, MD, PhD,<sup>2</sup> William Dab, MD, PhD,<sup>1</sup> Kévin Jean, PhD<sup>1,3</sup>

1. Supplementary material
2. Correspondence to: Hanifa Bouziri, Laboratoire MESuRS, Conservatoire national des Arts et Métiers (Cnam), Paris, France. [E-mail: hanifa.bouziri@lecnam.net]

Table S1. PRISMA 2020 checklist			
Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
<b>TITLE</b>			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	Line 1-3
<b>ABSTRACT</b>			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	Lines 6-25
<b>INTRODUCTION</b>			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	Line 34-59
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	Line 61-65
<b>METHODS</b>			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	Lines 81-101
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	Lines 75-80
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	Lines 75-101
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Line 103-107
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Line 109-113
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Line 115-124
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	Line 126-138
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	Not applicable here



Table S1. PRISMA 2020 checklist			
Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	Line 140-144 & 223-224
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	Not applicable here
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	Not applicable here
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	
<b>RESULTS</b>			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	Line 147-154 + figure 1
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	Not applicable here
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	Line 156-176
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	Line 178-206 + Table 2
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	Table1
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	Line 184-197
	20b	Present results of all time trends syntheses conducted.	Line 208-231
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	Line 223-224
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	Not applicable here
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	Not applicable here
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	Line 233-254
<b>DISCUSSION</b>			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	Line 257-265
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	Line 267-300
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	Line 302-308
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	Line 310-316
<b>OTHER INFORMATION</b>			
Registration and	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	Line 69-73

Table S1. PRISMA 2020 checklist			
Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
protocol	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	Line 417-420
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	Line 422-424
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	Supplementary material S2

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71  
For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org/>

**Table S2: Search strategy used for each database, with the detail of the algorithms of keywords used, the number of results per database and the total number of articles identified**

Database	Key words algorithms	Number of articles	Total per database	Total articles
Medline	1. "Musculoskeletal diseases*" [All Fields] AND ("temporal trends" [All Fields] OR "time trends" [All Fields] OR "over time" [All Fields] ) AND ("incidence" [All Fields] OR "prevalence" [All Fields]) AND ("1990/01/01" [PubDate] : "2020/01/30" [PubDate])	1,243	1,552	2,680
	2. "Musculoskeletal disorders*" [All Fields] AND ("temporal trends" [All Fields] OR "time trends" [All Fields] ) AND ("incidence" [All Fields] OR "prevalence" [All Fields]) AND ("1990/01/01" [PubDate] : "2020/01/30" [PubDate])	309		
Science Direct	1. ("Musculoskeletal disease" OR "Musculoskeletal diseases") AND ("temporal trends" OR "time trends" OR "over time") AND ("incidence" OR "prevalence") and select by hand 1990-2020	547	618	
	2. ("Musculoskeletal disorders" OR "Musculoskeletal disorders") AND ("temporal trends" OR "time trends" OR "over time") AND ("incidence" OR "prevalence") and select by hand 1990-2020	71		
Wiley	1. ("Musculoskeletal disease" OR "Musculoskeletal diseases") AND ("temporal trends" OR "time trends" OR "over time") AND ("incidence" OR "prevalence") and select by hand 1990-2020	379	472	
	2. ("Musculoskeletal disorders" OR "Musculoskeletal disorders") AND ("temporal trends" OR "time trends" OR "over time") AND ("incidence" OR "prevalence") and select by hand 1990-2020	93		
Web of Science	1. ("Musculoskeletal disease" OR "Musculoskeletal diseases") AND ("temporal trends" OR "time trends" OR "over time") AND ("incidence" OR "prevalence") and select by hand 1990-2020	18	38	
	2. ("Musculoskeletal disorders" OR "Musculoskeletal disorders") AND ("temporal trends" OR "time trends" OR "over time") AND ("incidence" OR "prevalence") and select by hand 1990-2020	20		



Table S3: MSD definition by article

Reference	Country	Definition of the MSD reported in each article
Ackerman et al, 2019 (1)	Austria	Primary total knee (TKR) and hip (THR) arthroplasties performed for osteoarthritis. See the link below to view the source they used for this definition: <a href="https://aoanjrr.sahmri.com/documents/10180/689619/Hip%2C+Knee+%26+Shoulder+Arthroplasty+New/6a07a3b8-8767-06cf-9069-d165dc9baca7">https://aoanjrr.sahmri.com/documents/10180/689619/Hip%2C+Knee+%26+Shoulder+Arthroplasty+New/6a07a3b8-8767-06cf-9069-d165dc9baca7</a>
Dick et al, 2020 (2)	US	In this study ,MSD definitions were collected by questionnaires supervised by an interview in a survey. The outcomes were the prevalence of back pain and pain in arms through a yes/no response to “In the past 12 months, have you had back pain every day for a week or more?” and “In the past 12 months, have you had pain in the hands, wrists, arms, or shoulders every day for a week or more?”
Gelfman et al, 2009 (3)	US	CTS: entrapment of the median nerve in the carpal tunnel, which is formed by the flexor retinaculum and carpal bones; this syndrome may be associated with repetitive occupational trauma, wrist injuries, amyloid neuropathies, rheumatoid arthritis, acromegaly, pregnancy, and other conditions; symptoms include burning pain and paresthesias affecting the ventral surface of the hand and fingers which may radiate proximally; altered sensation in the distribution of the median nerve and thenar atrophy may occur <a href="http://www.icd9data.com/2015/Volume1/320-389/350-359/354/354.0.htm">http://www.icd9data.com/2015/Volume1/320-389/350-359/354/354.0.htm</a>
Großschädl et al, 2014 (4)	Austria	In each survey, the presence of back pain was questioned. When collecting data from the Microcensus surveys (1973, 1983, 1991, 1999), participants were asked if they suffered from back pain at the time of the survey. If they have suffered from the disorder in the past 12 months. Surveys have used different definitions to identify back pain. In the last survey, the 12-month prevalence of back pain was collected, while in the first four Microcensus surveys, the point prevalence was measured. Despite the different collection methods of Microcensus and AT-HIS, it has been reported that back pain is often chronic and that there is not much difference in the prevalence of back pain at the time of investigation or rather within 12 months. The back pain data from the AT-HIS 2006–07 did not appear obvious and were similar and roughly matched the data from the Microcensus surveys. Therefore, the effect of the different definitions is probably minimal and reflects only a slight change in the prevalence of back pain over the study period.
Guido et al, 2020 (5)	Europe - 17 different countries	Depending on the country, the definition varies: Pain is included in the state of health and functional limitations. It was measured in 14 of the 17 studies, with different approaches. Some studies, for example, <i>Collaborative Research on Aging in Europe and Longitudinal Study on Health and Retirement in China</i> have approached it in terms of pain severity (e.g. none, mild, moderate, severe, extreme or other similar formats). Other studies, e.g. the Australian Longitudinal Study on Aging and the European Health, Aging and Retirement Survey dichotomously addressed the presence of pain (e.g. yes or no), sometimes addressing the idea that pain is 'often felt', as in the Irish Longitudinal Study on Aging. The harmonization procedure aims to generate inferentially equivalent content across studies to make the content of the variables collected in different studies uniform. For the pain variable, the content was "self-reported pain experienced at the time of the interview", and the modality of the variable was dichotomous.
Holte et al, 2003 (6)	Norway	Rheumatoid arthritis (RA): is a form of arthritis that causes pain, swelling, stiffness, and loss of function in the joints. It can affect any joint, but it is common in the wrist and fingers. More women than men suffer from rheumatoid arthritis. It often begins between the ages of 25 and 55. You may only have the disease for a short time, or the symptoms may come and go. The severe form can last a lifetime. Rheumatoid arthritis is different from osteoarthritis, the common arthritis that often occurs with age. RA can affect parts of the body in addition to the joints, such as your eyes, mouth, and lungs. RA is an autoimmune disease, which means arthritis results from your immune system attacking your body's own tissues. No one knows what causes rheumatoid arthritis. Genetics, the environment, and hormones could all contribute. Treatments include medicine, lifestyle changes, and surgery. These can slow or stop joint damage and reduce pain and swelling. NIH: National Institute of Arthritis, Musculoskeletal and Skin Diseases
Jimenez-Sanchez et al, 2010 (7)	Spain	Musculoskeletal disorders: subjects who have suffered from self-reported musculoskeletal pain (bone, spinal, or joint pain). If during the previous 2 weeks pain induces a decrease or limits the main work activity or free time activity by at least half a day, then symptoms are classified as disabling musculoskeletal pain.
Leijon et al, 2009 (8)	Sweden	The questionnaires included a question on low back pain, modified from the Standardized Nordic Questionnaire, with a recall period of 12 months (1990 and 1994) or 6 months (1998, 2002 and 2006): the last six (twelve) months? " The questions had identical alternative answers in each of the five

		surveys: "No, never", "Yes, a few days in the last six (twelve) months", "Yes, a few days a month", "Yes, a few days a week" and "Yes, every day." From a clinical point of view and for the purposes of this study, low back pain was defined as pain a few days a week or every day.
Martin et al, 2014 (9)	Finland	Questionnaire on 9 physical functions, pain that induces difficulty in: bending, bending, or kneeling, standing for 2 hours, pushing or pulling a large object; walk a quarter of a mile; climb ten steps; seated 2 hours; lift and carry ten pounds; reach above the head; and grab small items.
Paloneva et al, 2015 (10)	Finland	Arthroscopic open repair of the rotator cuff according to the Nomesco Classification of Surgical Procedures (Finnish version).
Pekkala et al, 2017 (11)	Finland	The diagnostic causes have been classified according to the main chapters of ICD-10: musculoskeletal diseases (M00 - M99). See the list of diseases on the WHO website below. Chapter definition: Diseases of the osteoarticular system, the muscles and connective tissue <a href="https://icd.who.int/browse10/2008/fr#/XIII">https://icd.who.int/browse10/2008/fr#/XIII</a>
Söderberg et al, 2018 (12)	Sweden	Musculoskeletal diagnosis according to the definition of ICD10 code M00-M99. Chapter definition: Diseases of the osteoarticular system, muscles and connective tissue. See the link below for to go further in the definition with the source they used <a href="https://icd.who.int/browse10/2008/fr#/XIII">https://icd.who.int/browse10/2008/fr#/XIII</a>
Solomon et al, 2007 (13)	United Kingdom	Questionnaire distributed, with the question concerning MSDs: "Have you ever left or abandoned a job (including jobs held for less than a year) because of a health problem?" Then question on muscle pain and recoding in MSD.
Spitaels et al, 2020 (14)	Belgium	Osteoarthritis of the knee: Criteria: Either imaging with a characteristic appearance; either a joint disorder that has progressed for at least three months, without constitutional symptoms comprising three or more of the following three signs: intermittent swelling, crepitus, stiffness or limitation of movement, speed of sedimentation, rheumatoid tests, normal uric acid; over 40 years. Includes: knee osteoarthritis secondary to dysplasia; knee osteoarthritis secondary to trauma. See the link below to view the source they used for this definition: <a href="https://www.hetop.eu/hetop/3CGP/en/?rr=CIP_D_L91&amp;q=CIP_D_L91#rr=CIP_D_L90&amp;q=CIP_D_L90">https://www.hetop.eu/hetop/3CGP/en/?rr=CIP_D_L91&amp;q=CIP_D_L91#rr=CIP_D_L90&amp;q=CIP_D_L90</a>
Swain et al, 2020 (15)	United Kingdom	The osteoarthritis incident was defined as the first diagnosis of osteoarthritis in each year of study. Prevalent osteoarthritis was defined as having a diagnosis of osteoarthritis on July 1 of each year of study. Read codes were used: a medical coding system for clinical terms used by the National Health Services (NHS), United Kingdom. The Read code list available ( <a href="http://www.keele.ac.uk/mrr">www.keele.ac.uk/mrr</a> ) to identify people with osteoarthritis diagnosed by general practitioners (GPs) has been adapted according to the inclusion and exclusion criteria of the study. Two types of osteoarthritis were excluded (acromioclavicular and sternoclavicular joints), due to the possible low precision of the diagnosis at the level of these joints and the expected incidence is very low. The codes obtained from the given website were previously mapped to the ICD-10 codes.
Yu et al, 2017 (16)	United Kingdom	Two definitions of osteoarthritis: 1) Defined cases having had at least 1 consultation with a recorded diagnosis of osteoarthritis or, at least 1 consultation with a recorded peripheral joint pain symptom affecting the knee, hip and hand/wrist likely to reflect osteoarthritis (clinical osteoarthritis); 2) Cases defined more narrowly as having at least 1 consultation with a recorded diagnosis of osteoarthritis.

#### Supplementary material 4: Detail of bias risk and quality in statistical analysis

An important step in systematic literature review methods is to assess the risk of bias of individual studies. Therefore, we adapted the methodology of two tools usually used : the RoB -SPEO tool (17) and the Navigation Guide's evidence quality assessment tool inspired by the article by Alexis Descatha et al, 2018 (appendix H) (18).



From the RoB-SPEO criteria (17) we used bias: 1) in selection of participants into the study, 2) due to misclassification of MSD, 3) due to conflict of interest, and 4) other bias. Thus, we considered 4 biases among 8 since the other bias was not relevant because of their specificity to exposures and measures of risk factors and in our study we only assessed the time trends in MSDs (reminder of the biases that have not been retained because they are not relevant here: bias due to a lack of blinding of study personnel, bias due to incomplete exposure data, bias due to selective reporting of exposures and bias due to differences in numerator and denominator).

In the Navigator guide described in the Alexis Descatha et al, 2018 (appendix H) article (18), most of the criteria were close to RoB-SPEO but we added the relative criterion on confounding factors which was consistent with the needs of our study (bias due to poor consideration of confounding factors).

Classifications of each bias for the selected articles are provided below.

S4.a: Selection bias: potential bias resulting from study groups not adequately representing the population of interest.

- Low: the target population represented the whole working population or general population.
- Probably low: there was insufficient information about participant selection to permit a judgment of low risk of bias, but the worker population used in the study was specific to one category of worker (eg: farmer, worker, executives, etc.).
- Probably high there was insufficient information about participant selection to permit a judgment of high risk of bias, but there is indirect evidence which suggests that inclusion/exclusion criteria, recruitment and enrollment procedures, and participation and follow-up rates were inconsistent across groups, as described by the criteria for a judgment of high risk of bias.
- High: participant selection was based on voluntary participation, or there were indications from descriptions of the source population that risk of selection effects were substantial, whether due to issues in inclusion/exclusion criteria, recruitment and enrolment procedures, participation and follow-up rates, or data on the distribution of relevant study sample and population characteristics.

Bias	References	Ladder	Information found in each article related to the bias
Bias in selection of participants into the study	Ackerman et al., 2019	Low	Anonymized individual data obtained from the Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry (AOANJRR). Data collected from all public and private hospitals performing joint replacements.
	Dick et al., 2020	Low	Data collected as part of the biannual General Social Survey (GSS) conducted by the National Opinion Research Center (NORC) at the University of Chicago. This survey is described as nationally representative and was conducted to track societal changes and study American society. The Quality of Life at Work (QWL) module is the module that has been added to collect nationally representative opinions on working life.
	Gelfman et al., 2009	Low	Data from a medical registry (from the Rochester Epidemiology Project) in the population of Olmsted County (US).
	Großschädl et al., 2014	Low	Data from cross-sectional health surveys conducted by random selection.
	Guido et al., 2020	Low	Data from existing international longitudinal cohorts (ATHLOS project) related to health and aging. The harmonized data set includes participant records from 17 different studies.
	Holte et al., 2003	Low	Data file from the National Insurance Administration (NIA) -> disability pension.
	Jimenez-Sanchez et al., 2010	Low	Data obtained from the Spanish national health system via a permanent personal home interview that examines a nationally representative sample of the non-institutionalized civilian population residing in major family dwellings in Spain.
	Leijon et al., 2009	Low	Cross-sectional survey data with random drawing and stratification according to the population structure of Stockholm. The diagnoses included in the analyses of hospitalization were from the International Classification of Diseases versions 9 and 10 (ICD 9 and ICD 10).
	Martin et al., 2014	Low	National data from the National Health Interview Survey (NHIS), which is an annual nationally representative survey of the non-institutionalized population of the United States.
	Paloneva et al., 2015	Low	National data from the Finnish Hospital Discharge Register (FHDR) for the period of 1998-2011.
	Pekkala et al., 2017	Low	Data based on a nationally representative 70% random sample of Finnish residents. The sample data was unbalanced across years since individuals could be included in the sample each year (or enter and exit the data set).
	Söderberg et al., 2018	Low	Data from the national occupational health service listing the basic clinical examinations of workers every five years (cohort). Possible identification of subjects who have obtained a disability pension.
	Solomon et al., 2007	Probably low	Study population including men working in agriculture at the time of the national census.
	Spitaels et al., 2020	Low	Intego database including data extracted from electronic health records of general practitioners, all using Medidoc medical software.
	Swain et al., 2020	Low	Data from general practice electronic medical records which can be generalized to the general UK population.
	Yu et al., 2017	Low	Longitudinal data from the UK Clinical Practice Research Datalink (CPRD) which contains primary care records from GP surgeries covering around 7% of the UK population.

S4.b: Bias of misclassification: the potential biases linked to a misclassification of MSDs .

- Low: the diagnosis was made by a medical exam
- Probably low: the diagnosis was made by and/or via an interview or auto-questionnaire.
- Probably high: information on the diagnosis was insufficient to judge a high risk of bias, but there was indirect evidence suggest that the symptom identification method criteria, were inconsistent between groups, the bias was considered to be probably high. For example, when the questionnaires distributed according to the groups were not the same each year.
- High: If it was proven that the diagnosis was not an element of the study design capable of introducing a risk of bias into the study, the bias was considered to be high.

Bias	References	ladder	Information found in each article related to the bias
Bias due to misclassification of MSDs	Ackerman et al., 2019	Low	Medical diagnostics
	Dick et al., 2020	Probably low	The survey is a 90-minute, face-to-face survey administered to randomly selected non-institutionalized American adults aged 18 and over. Primary outcomes were prevalence of back pain and arm pain with a yes/no response to "In the past 12 months, have you had back pain every day for a week or more?" and "During the past 12 months, have you had pain in your hands, wrists, arms or shoulders every day for a week or more?"
	Gelfman et al., 2009	Low	Medical diagnostics
	Großschädl et al., 2014	Probably low	Interview via a questionnaire on the health of the individuals surveyed
	Guido et al., 2020	Probably low	Pain has been approached differently in different countries: sometimes dichotomously (presence of pain yes or no); and sometimes the idea that pain is "often felt" has been gradually defined. There was a harmonization procedure that aimed to generate inferentially equivalent content between the studies to make the content of the variables collected in the different studies uniform.
	Holte et al., 2003	Low	Medical diagnostics
	Jimenez-Sanchez et al., 2010	Probably low	Questionnaires on pain
	Leijon et al., 2009	Probably low	Questionnaires on pain
	Martin et al., 2014	Probably low	Questionnaires on pain
	Paloneva et al., 2015	Low	Medical diagnostics

	Pekkala et al., 2017	Low	Medical diagnostics
	Söderberg et al., 2018	Probably low	Disability pension following a medical diagnosis
	Solomon et al., 2007	Probably low	Questionnaire on job losses due to MSD or MSD proxies
	Spitaels et al., 2020	Low	Medical diagnostics
	Swain et al., 2020	Low	Medical diagnostics
	Yu et al., 2017	Low	Medical diagnostics

#### S4.c: Bias due to incorrectly taking confounding factors into account:

Regarding bias due to a poor consideration of confounding factors, this criterion had to be adapted to our study. In our study, we sought to review the articles which deal with the temporal evolution of MSDs by taking age into account to see whether it is possible to distinguish the effect of age from that of time in the occurrence of these pathologies. Therefore, since in our selection procedure, we only selected articles dealing with temporal trends in MSDs by age (and not only raw trends) we do not risk having selected articles for which there will be high or probably high risk of bias (absence of the age factor). We therefore defined 2 categories of evaluations:

- Low: when, in addition to the age factor, other confounding factors, the bias was considered to be low. These factors provided a more detailed analysis of temporal trends
- Probably low: when only the age factor has been considered, the bias was defined as probably low. The age factor allows to take into account the effect of demographics in the temporal trends of the occurrence of MSDs.



Bias	References	ladder	Information found in each article related to the bias
Bias due to poor consideration of confounding factors	Ackerman et al., 2019	Low	National population projections, stratified by age and sex, were obtained from the Australian Bureau of Statistics (ABS). These projections were based on national census data and a series of assumptions about future fertility, life expectancy and migration.
	Dick et al., 2020	Low	Controlling the age, sex, mental and physical health, sleeping problems, physical factors, hand movements, psychosocial and organizational risks, etc.
	Gelfman et al., 2009	Low	Controlling the age and sex.
	Großschädl et al., 2014	Low	Each survey sample was weighed according to sex, age and region to ensure representation of the Austrian population. Data analysis for this study was limited to adults.
	Guido et al., 2020	Low	Controlling the age, sex, and time.
	Holte et al., 2003	Low	Controlling the age, sex, and time.
	Jimenez-Sanchez et al., 2010	Low	Taking socio-demographic variables into account.
	Leijon et al., 2009	Low	Controlling the age and sex.
	Martin et al., 2014	Low	Controlling the age, sex, and proxy response to the NHIS family basic questionnaire.
	Paloneva et al., 2015	Low	Controlling the age, sex.
	Pekkala et al., 2017	Low	Controlling the age, sex.
	Söderberg et al., 2018	Probably low	Consideration of age but no other potential confounding factors.
	Solomon et al., 2007	Probably low	Consideration of age but no other potential confounding factors.
	Spitaels et al., 2020	Low	Controlling the age, sex.
	Swain et al., 2020	Probably low	Consideration of age but no other potential confounding factors.
	Yu et al., 2017	Low	Controlling the age, sex.

S4.d: Bias due to potential conflict of interest:

Bias due to potential conflict of interest resulting from support from a company, a study author or other entity with a financial interest were also assessed:

- Low: no conflict in the paper was mentioned
- Probably low: conflict of interest was not mentioned, but the laboratories that published the papers were affiliated with public research agencies or non-profit scientific institutions
- Probably high: there was insufficient information to allow a judgment of high risk of bias, but there was circumstantial evidence which suggests that the study was not free of support from a company, study author or another entity with a financial interest in the outcome of the study, as described by the criteria for a judgment of high risk of bias
- High: there was circumstantial evidence to suggest that the study was not exempt from support from a company, study author, or another entity with a financial interest in the outcome of the study

Bias	References	ladder	Information found in each article related to the bias
Bias due to conflict of interest	Ackerman et al., 2019	Low	Assistant Professor Ackerman was supported by a Public Health Early Career Fellowship from the National Health and Medical Research Council (NHMRC). The sponsor had no role in the study design, data collection, analysis, and interpretation, in the drafting of the manuscript, or in the decision to submit the manuscript for publication. There are no potential conflicts of interest regarding this work.
	Dick et al., 2020	Low	The authors have no conflicts of interest to declare. There are no external sources of support to report. It's a job for the US government.
	Gelfman et al., 2009	Probably low	Not mentioned- affiliated with public (research) agencies or scientific institutions that we judged to be free from commercial interests in the study findings.
	Großschädl et al., 2014	Low	The authors have declared that no competing interests exist.
	Guido et al., 2020	Low	The authors have declared that no competing interests exist.
	Holte et al., 2003	Probably low	Not mentioned- affiliated with public (research) agencies or scientific institutions that we judged to be free from commercial interests in the study findings.
	Jimenez-Sanchez et al., 2010	Probably low	Not mentioned- affiliated with public (research) agencies or scientific institutions that we judged to be free from commercial interests in the study findings.
	Leijon et al., 2009	Low	Competing interests: None declared.

Martin et al., 2014	Probably low	Not mentioned- affiliated with public (research) agencies or scientific institutions that we judged to be free from commercial interests in the study findings.
Paloneva et al., 2015	Low	The authors declare that they have no competing interests.
Pekkala et al., 2017	Low	The authors declare that they have no competing interests.
Söderberg et al., 2018	Low	Competing interests: None declared.
Solomon et al., 2007	Low	This study had no competing financial interests.
Spitaels et al., 2020	Low	The authors have declared no conflicts of interest.
Swain et al., 2020	Low	The authors declare that there is no conflict of interest.
Yu et al., 2017	Low	Competing interests: None declared.

The potential presence of other biases was also assessed. We did not identify any other biases and rated all studies as probably low risk of other bias



S4.e: The quality of the statistical trend tests in the included articles was also assessed:

- Satisfactory Quality (SQ): trend or age-period-cohort (APC) model tests were performed.
- Probably Satisfactory Quality (PSQ): there was no mention of a trend test or APC, but confidence intervals of the incidence and / or prevalence of MSDs over time were reported.
- Probably Unsatisfactory Quality (PUQ): no mention of statistical tests and no confidence intervals reported.

Test quality	References	ladder	Information found in each article related to the quality of the test (tendency test and/or CI95%)
Quality of the statistical trend tests	Ackerman et al., 2019	PUQ	Not mentioned
	Dick et al., 2020	PSQ	Chi-squared test to statistically measure the temporal evolution of back pain and pain in the arm, but no consideration of age (table 2)- age is considered in Table 3 and 4 but without trend test.
	Gelfman et al., 2009	PSQ	CI95% for the incidence
	Großschädl et al., 2014	PUQ	Not mentioned
	Guido et al., 2020	SQ	The cohort models by period of age (APC) used to analyze and project the rates considering the processes on three scales of time, age and year of survey (period) and year of birth (cohort).
	Holte et al., 2003	PUQ	Not mentioned
	Jimenez-Sanchez et al., 2010	SQ	Statistical tests on trends (presence of p value)
	Leijon et al., 2009	PSQ	CI95% for the prevalence
	Martin et al., 2014	SQ	Statistical tests on trends (presence of p value)
	Paloneva et al., 2015	PUS	Not mentioned
	Pekkala et al., 2017	SQ	Statistical tests on trends (presence of p value)
	Söderberg et al., 2018	PUQ	Not mentioned
	Solomon et al., 2007	PUQ	Not mentioned
	Spitaels et al., 2020	SQ	The cohort models by period of age (APC) were used to analyze and project the rates considering the processes on three scales of time, age and year of survey (period), and year of birth (cohort).

	Swain et al., 2020	PUQ	Not mentioned
	Yu et al., 2017	PSQ	CI95% for the incidence

## References:

1. Ackerman IN, Bohensky MA, Zomer E, Tacey M, Gorelik A, Brand CA, et al. The projected burden of primary total knee and hip replacement for osteoarthritis in Australia to the year 2030. *BMC Musculoskelet Disord*. [Internet]. 2019 Feb 23 [cited 2020 Nov 20];20. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6387488/>
2. Dick RB, Lowe BD, Lu M-L, Krieg EF. Trends in Work-Related Musculoskeletal Disorders From the 2002 to 2014 General Social Survey, Quality of Work Life Supplement. *J Occup Environ Med*. 2020 Aug;62(8):595–610.
3. Gelfman R, Melton LJ, Yawn BP, Wollan PC, Amadio PC, Stevens JC. Long-term trends in carpal tunnel syndrome. *Neurology*. 2009 Jan 6;72(1):33–41.
4. Großschädl F, Freidl W, Rásky É, Burkert N, Muckenhuber J, Stronegger WJ. A 35-Year Trend Analysis for Back Pain in Austria: The Role of Obesity. *PLoS ONE* [Internet]. 2014 Sep 10 [cited 2020 Oct 29];9(9). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4160246/>
5. Guido D, Leonardi M, Mellor-Marsá B, Moneta MV, Sanchez-Niubo A, Tyrovolas S, et al. Pain rates in general population for the period 1991–2015 and 10-years prediction: results from a multi-continent age-period-cohort analysis. *J Headache Pain* [Internet]. 2020 May 13 [cited 2020 Oct 29];21(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7218619/>
6. Holte HH, Tambs K, Bjerkedal T. Time trends in disability pensioning for rheumatoid arthritis, osteoarthritis and soft tissue rheumatism in Norway 1968-97. *Scand J Public Health*. 2003;31(1):17–23.
7. Jimenez-Sanchez S, Jimenez-Garcia R, Hernandez-Barrera V, Villanueva-Martinez M, Rios-Luna A, Fernandez-de-las-Penas C. Has the Prevalence of Invalidating Musculoskeletal Pain Changed Over the Last 15 Years (1993-2006)? A Spanish Population-Based Survey. *J Pain Edinburgh: Churchill Livingstone*; 2010 Jul;11(7):612–20.
8. Leijon O, Mulder M. Prevalence of low back pain and concurrent psychological distress over a 16-year period. *Occup Environ Med*. 2009 Feb;66(2):137–9.
9. Martin LG, Schoeni RF. Trends in Disability and Related Chronic Conditions Among the Forty-and-Over Population: 1997-2010. *Disabil Health J*. 2014 Jan;7(1 0):S4-14.
10. Paloneva J, Lepola V, Äärimaa V, Joukainen A, Ylinen J, Mattila VM. Increasing incidence of rotator cuff repairs—A nationwide registry study in Finland. *BMC Musculoskelet Disord*. [Internet]. 2015 Aug 12 [cited 2020 Nov 20];16. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4531533/>
11. Pekkala J, Blomgren J, Pietiläinen O, Lahelma E, Rahkonen O. Occupational class differences in diagnostic-specific sickness absence: a register-based study in the Finnish population, 2005–2014. *BMC Public Health* [Internet]. 2017 Aug 22 [cited 2020 Oct 27];17. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5568169/>
12. Söderberg M, Mannelqvist R, Järholm B, Schiöler L, Stattin M. Impact of changes in welfare legislation on the incidence of disability pension. A cohort study of construction workers. *Scand J Public Health*. 2020 Jun;48(4):405–11.
13. Solomon C, Poole J, Palmer KT, Coggon D. Health-related job loss: findings from a community-based survey. *Occup Environ Med*. 2007 Mar;64(3):144–9.

14. Spitaels D, Mamouris P, Vaes B, Smeets M, Luyten F, Hermens R, et al. Epidemiology of knee osteoarthritis in general practice: a registry-based study. *BMJ Open* [Internet]. 2020 Jan 20 [cited 2020 Oct 29];10(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7044813/>
15. Swain S, Sarmanova A, Mallen C, Kuo CF, Coupland C, Doherty M, et al. Trends in incidence and prevalence of osteoarthritis in the United Kingdom: findings from the Clinical Practice Research Datalink (CPRD). *Osteoarthritis Cartilage*. 2020 Jun 1;28(6):792–801.
16. Yu D, Jordan KP, Bedson J, Englund M, Blyth F, Turkiewicz A, et al. Population trends in the incidence and initial management of osteoarthritis: age-period-cohort analysis of the Clinical Practice Research Datalink, 1992–2013. *Rheumatol. Oxf Engl*. 2017 Nov;56(11):1902–17.
17. Pega F, Norris SL, Backes C, Bero LA, Descatha A, Gagliardi D, et al. RoB-SPEO: A tool for assessing risk of bias in studies estimating the prevalence of exposure to occupational risk factors from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environ Int*. [Internet]. 2020 Feb [cited 2021 Apr 16];135. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7479507/>
18. Descatha A, Sembajwe G, Baer M, Boccuni F, Di Tecco C, Duret C, et al. WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of exposure to long working hours and of the effect of exposure to long working hours on stroke. *Environ Int*. 2018 Oct 1;119:366–78.

## **Chapitre 3**

Justification de l'utilisation des modèles sérocatalytiques pour la reconstruction de l'historique des TMS et les projections de l'évolution de ces pathologies

## **12. Limites mises en lumière par l’analyse du GBD et la revue de la littérature**

L'étude de la distribution spatio-temporelle des TMS de 1990 à 2019 sur la base du GBD a montré que le vieillissement de la population à l'échelle mondiale est vraisemblablement très fortement lié à l'augmentation du fardeau des TMS. Cependant, d'autres facteurs semblent également contribuer à l'augmentation de ces pathologies au fil du temps. La revue systématique de la littérature a corroboré ces résultats en montrant que différents types de facteurs, en plus du vieillissement, pouvaient contribuer à des tendances variables ou croissantes des TMS. Cette revue a également mis en évidence la rareté des preuves concernant les tendances temporelles du fardeau des TMS et leurs causes sous-jacentes, en particulier dans les pays de l'hémisphère Sud. Les limites identifiées dans les travaux présentés précédemment soulignent notamment la nécessité de mieux comprendre la contribution de l'âge et des tendances séculaires dans la survenue des TMS avant de pouvoir produire des projections de ces pathologies.

Pour mieux comprendre la contribution de l'âge et du temps séculaire dans le développement de TMS, une des approches possibles pourrait être l'utilisation de modélisations dynamiques, déjà employées dans le cadre des études épidémiologiques. Dans ce chapitre nous présenterons d'abord brièvement les données dont nous disposons et leurs limites, puis nous présenteront la justification du choix de nos modèles.

## 13. Les données dont nous disposons

Dans cette partie, nous allons présenter brièvement les données disponibles sur les prévalences des TMS liées au travail issues des enquêtes du *LFS d'Eurostat*. Ces données présentent plusieurs limites, notamment en termes de fiabilité et de validité. Nous présentons d'abord les raisons pour lesquelles nous avons choisi de travailler spécifiquement sur les données finlandaises. Dans un deuxième temps nous justifions le choix des modèles au vu des données dont nous disposons pour pouvoir produire des projections de l'évolution des TMS à l'horizon 2035.

### 13.1. Brève description des enquêtes *Labour Force Survey (LFS)* d'*Eurostat*

*Eurostat's LFS* est une enquête annuelle sur l'emploi et le chômage en Europe. Elle est menée dans tous les pays de l'Union européenne, ainsi que dans quelques pays non-membres de l'UE (*Database - Eurostat, 2019*). Cette enquête fournit des estimations démographiques pour les principales caractéristiques du marché du travail et est organisée en treize modules. Les informations annuelles sur l'emploi et les variables connexes dans les États membres de l'UE sont fournies chaque année. L'enquête sur les forces de travail de l'UE divise la population de l'Union européenne en âge de travailler (15 ans et plus) en trois groupes mutuellement exclusifs : 1) les personnes qui travaillent ; 2) Les chômeurs, et 3) Les personnes inactives. Les méthodes de recrutement utilisées dans l'enquête LFS variaient légèrement d'un pays à l'autre, mais elles se basent généralement sur un échantillon aléatoire de ménages. Cela signifie que tous les ménages du pays sont inclus dans l'échantillon avec la même probabilité. L'échantillon est généralement sélectionné de manière stratifiée, c'est-à-dire que les ménages sont sélectionnés dans différentes régions et types de communautés afin de s'assurer que les résultats de l'enquêtes soient le plus représentatifs de l'ensemble de la population. Dans certains pays, il est possible que les données soient collectées par téléphone ou en ligne, tandis que dans d'autres, des enquêteurs se rendent directement auprès des ménages pour recueillir les données. Les enquêteurs sont généralement formés pour poser des questions de manière neutre et objective, afin de s'assurer que les réponses soient le plus précises et fiables possible. Une



fois les ménages sélectionnés pour participer à l'enquête, tous les membres âgés de 15 ans ou plus sont invités à répondre à un questionnaire sur leur emploi et leur chômage. Les réponses sont anonymes et confidentielles, et utilisées uniquement à des fins statistiques.

L'objectif de l'enquête est de recueillir des données sur l'emploi et le chômage, mais aussi sur d'autres aspects de la vie professionnelle, tels que le temps de travail, les conditions de travail et les revenus. Les répondants sont affectés à l'un de ces groupes sur la base des informations les plus objectives possibles obtenues grâce aux questionnaires de l'enquête, qui concernent principalement leur activité réelle au cours d'une semaine de référence donnée. Depuis 1999, des [modules ad-hoc](#)<sup>5</sup> avec des questions sur des sujets spécifiques ont été ajoutés au questionnaire du LFS. En 1999, 2007, et 2013 un module ad-hoc de onze questions sur les accidents du travail, les maladies liées au travail et les expositions dangereuses a été ajouté (voir les annexes 2, 3, et 4 pour le détail des questionnaires). Les objectifs de ces modules sont : 1. collecter des données statistiques harmonisées sur les problèmes de santé liés au travail (y compris les expositions) qui ne sont pas couverts par les méthodologies de collecte de données administratives, et 2. être en mesure d'analyser les données sur la santé et la sécurité au travail en fonction des variables liées au marché du travail disponibles dans LFS mais non incluses dans les *données administratives*.

## 13.2. Particularité des données françaises

Dans le rapport de 2009 sur les résultats du module ad-hoc de l'enquête LFS de 2007 sur les accidents du travail et les problèmes de santé liés au travail (Eurostat, 2009), la France présente une fréquence de problèmes de santé liés au travail de 48.8% ce qui est particulièrement élevée par rapport aux autres pays européens (voir tableau 6.1, graphique 6.1 du rapport voir annexe 1). Cette fréquence élevée s'explique en partie par une mauvaise construction des questions, comme évoqué dans l'analyse du rapport par la formulation présentée au chapitre 4. En effet le questionnaire français de 2007 ne présentait pas de référence explicite aux problèmes de santé mentale rendant les réponses potentiellement ambiguës sur la présence de douleur physique ou mentale et donc à titre d'exemple, une très large surestimation des problèmes de santé liés au travail de type TMS. Dans le rapport il y est d'ailleurs mentionné que les données

---

<sup>5</sup> Le lien des différents modules ad-hoc des enquêtes LFS : [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU\\_labour\\_force\\_survey\\_-\\_modules#Overview\\_of\\_the\\_modules](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_labour_force_survey_-_modules#Overview_of_the_modules)

françaises ne pouvant pas être comparées aux autres pays européens et ont donc été exclus de l'analyse finale (voir **annexe 1**). Dans le cadre de ce travail de thèse nous avons donc choisi d'exclure les données françaises qui présentaient des prévalences de TMS pour 1999, 2007 et 2013 dont la construction des questionnaires différait d'une année à l'autre ne permettant pas leur analyse au cours du temps.

### 13.3. Présentation des données pour 1999, 2007 et 2013

Parmi les 28 États membres de l'Union européenne qui ont participé à l'étude *LFS d'Eurostat* seules 10 présentaient des données relatives aux TMS pour les 3 années d'enquêtes des modules ad-hoc sur les accidents du travail, et les maladies liées au travail, le détail des prévalences, nombres d'individus et données manquantes et dans le **tableau 7**. Parmi ces 10 pays, 8 présentaient un nombre important de données manquantes au moins pour une des années d'enquêtes : le Danemark, La Grèce, la Hongrie, l'Italie, le Luxembourg, le Portugal, l'Espagne et le Royaume-Uni. Les données issues des enquêtes effectuées en Grèce, et au Luxembourg n'ont pas été utilisées pour les modèles de projection puisque pour au moins une année d'enquête le nombre d'individus recensé parmi les personnes ayant eu au moins un problème de santé lié au travail était particulièrement bas par rapport aux autres années : 23 individus en 1999 pour la Grèce et 622 individus pour le Luxembourg en 2007. Les données de prévalences de TMS parmi les personnes ayant eu au moins un problème de santé lié au travail on constate des différences particulièrement élevées d'une année à l'autre. Pour le Danemark la prévalence des TMS parmi les problèmes de santé liés au travail passe de 60,19% en 2007 à presque 17% en 2013, pour la Hongrie la prévalence passe d'environ 1% en 1999 à 57,85% en 2007, pour l'Italie la prévalence passe de 12,43% en 1999 à 43,35% en 2007, pour le Portugal la prévalence passe de 6,87% en 2007 à 50,51% en 2013 pour l'Espagne la prévalence passe de 28,54% en 2007 à 61,44% en 2013 et pour le Royaume-Uni la prévalence passe de 2,97% en 1999 à 19,46% en 2007.

La prévalence des TMS en fonction du nombre de problèmes de santé liés au travail dans différents pays en 1999, 2007 et 2013 a par la suite été examinée (voir **figure 9**). Les résultats ont montré une variabilité considérable de la proportion de sujets ayant des TMS selon le nombre de problèmes de santé liés au travail, allant de 38% pour ceux ayant eu "un" problème de santé au Portugal en 1999 à 72% pour ceux ayant eu "deux ou plus" de problèmes de santé

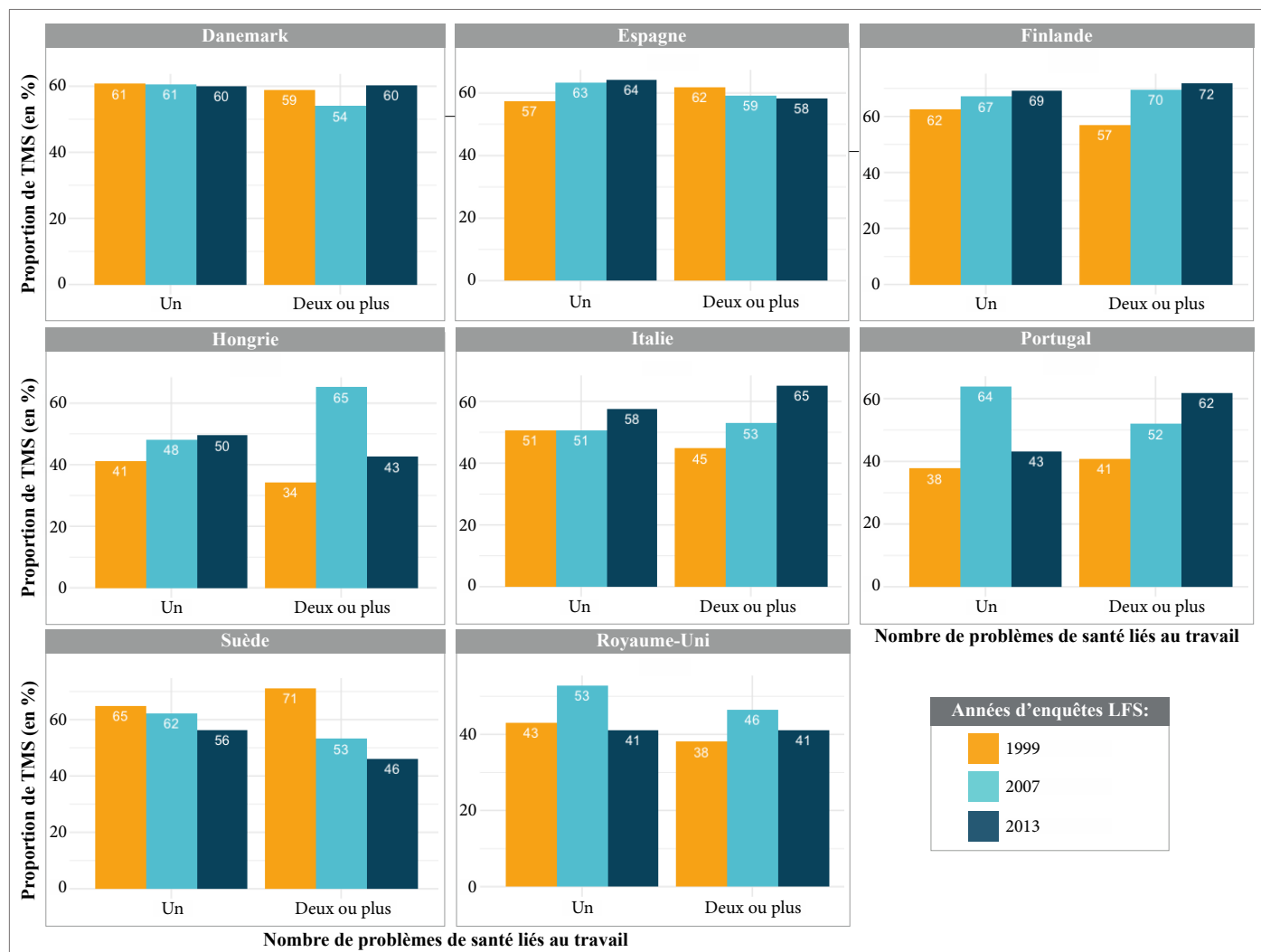
en Finlande en 2013. Des taux supérieurs ou égaux à 50% ont été observés pour le Danemark, la Finlande, la Suède et l'Espagne pour chaque année étudiée. Une augmentation de la proportion de TMS parmi les individus ayant des problèmes de santé liés au travail a été constatée entre 1999 et 2013 en Finlande, en Italie, en Hongrie et au Portugal. En revanche, une diminution significative de la proportion de TMS a été observée en Suède chez les sujets ayant eu "un" problème de santé lié au travail (65% en 1999 à 56% en 2013) et chez ceux ayant eu "deux ou plus" de problèmes de santé liés au travail (71% en 1999 à 46% en 2013).

**Tableau 7 :** Résumé global des prévalences des TMS globales et parmi les problèmes de santé liés au travail, le nombre d'individus par enquêtes et parmi les personnes ayant eu un ou des problèmes de santé liés au travail et les données manquantes, issues des enquêtes *LFS d'Eurostat* pour 1999, 2007 et 2013.

Pays	1999					2007					2013				
	P (%)	N	P <sub>travail</sub> (%)	N <sub>travail</sub>	NA	P (%)	N	P <sub>travail</sub> (%)	N <sub>travail</sub>	NA	P (%)	N	P <sub>travail</sub> (%)	N <sub>travail</sub>	NA
Danemark	5,93	10772	56,26	1154	95	7,42	20852	60,19	2581	3	3,17	21852	16,95	4013	5864
Finlande	14,9	22224	55,39	7671	798	16,9	16015	66,93	5416	60	18,0	16015	66,66	5373	266
Grèce	0,018	51991	44,96	23	0	4,94	49299	40,02	7040	2082	5,06	41054	40,66	5264	1487
Hongrie	0,42	59246	1,05	26088	25440	3,31	51652	57,85	3232	157	2,65	42501	40,56	3293	183
Italie	1,22	124888	12,43	12844	9742	3,53	118081	43,35	9545	1419	3,22	106968	48,90	7405	1207
Luxembourg	2,15	9668	9,55	9668	1720	2,80	14437	65,01	622	0	2,25	11317	6,15	4508	3901
Portugal	0,59	33924	1,95	11775	11307	3,08	32254	6,87	14417	12877	4,13	30459	50,51	2759	628
Suède	6,05	14843	40,45	2350	978	7,95	39546	59,55	6243	62	10,68	29891	52,99	6630	80
Espagne	1,42	124869	28,54	6726	3318	3,62	75307	61,44	4464	78	3,03	77313	61,28	3922	117
Royaume-Uni	1,19	105010	2,97	43021	40097	2,38	88766	19,46	11046	12848	1,15	62157	3,19	24713	23022

**Note :** P (%) représente la prévalence brute globale des TMS en pourcentage, N est le nombre d'individus de l'enquête, P<sub>travail</sub> (%) est la prévalence brute des TMS parmi les problèmes de santé liés au travail par enquête, N<sub>travail</sub> représente le nombre d'individus parmi les personnes ayant eu un ou plusieurs problèmes de santé liés au travail, NA représente les données manquantes. Les deux prévalences P et P<sub>travail</sub> sont pondérées selon la variable de pondération renseignée dans le dictionnaire de variable d'*Eurostat*.

**Figure 9 :** Proportion d'individus ayant des TMS en fonction du nombre de problèmes de santé liés à leur travail en 1999, 2007 et 2013, avec une distinction entre ceux ayant "un" problème et ceux en ayant "deux ou plus".

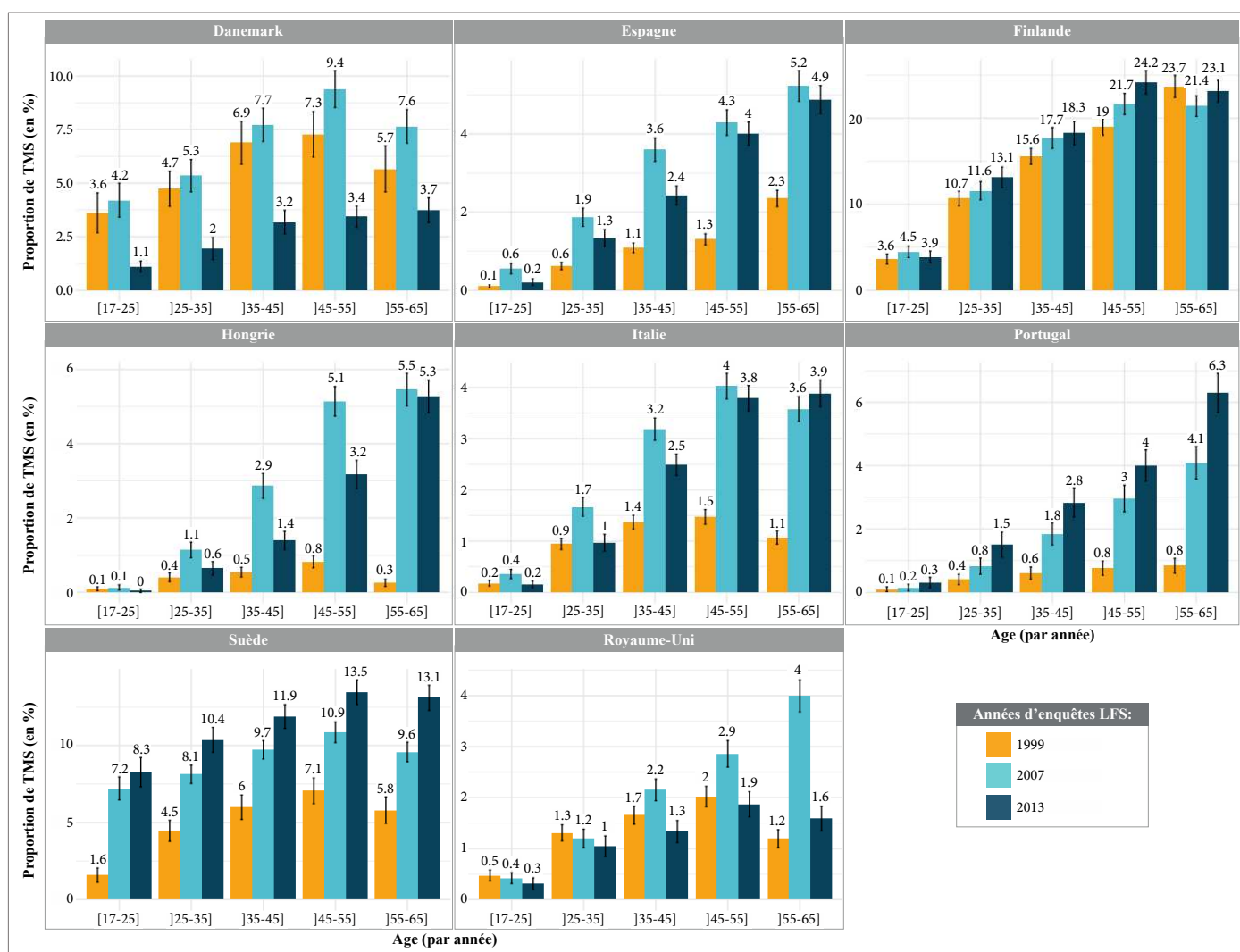


Les résultats des différentes prévalences des TMS selon l'âge et le temps par pays présentés en **figure 10** montrent une augmentation systématique avec l'âge, quelle que soit l'année d'enquête. Cette tendance est observée dans tous les pays étudiés. En particulier, nous avons observé une augmentation de la prévalence des TMS entre 1999 et 2013 en Finlande, Portugal et Suède pour toutes les tranches d'âges étudiées. Dans ces pays, la prévalence des TMS augmente de manière continue avec l'âge. Cependant, dans d'autres pays comme le Danemark, l'Espagne, la Hongrie et l'Italie, nous avons observé des tendances temporelles non monotones au cours du temps par tranches d'âge. Un autre aspect intéressant à noter est qu'en Espagne, Hongrie, Italie, Portugal et Royaume-Uni, les effectifs sont parfois très faibles selon les tranches d'âges, rendant difficile la mise en place de projections de l'évolution des TMS pour ces pays. Cela peut être explicable par les données manquantes présentées dans le **tableau 7** et/ou à une faible qualité des données.

En comparaison avec d'autres pays, la Finlande et la Suède présentent une qualité de données qui permet d'envisager la mise en place de projections de l'évolution des TMS. Cette qualité est due principalement au faible nombre de données manquantes dans ces deux pays. Par ailleurs, le contenu des questionnaires est suffisamment proche rendant la comparaison d'une année à l'autre possible, particulièrement en Finlande. De plus, les effectifs par tranche d'âge étant suffisamment importants, cela rend les comparaisons entre les différentes années d'enquête plus faciles.

Malgré les limites des enquêtes *LFS d'Eurostat*, et pour nos besoins de démonstration nous avons choisi de nous focaliser sur un seul pays d'étude, et nous avons de ce fait choisi les données finlandaises, car la Finlande est l'un des pays qui a le plus contribué historiquement au recueil des données pour les enquêtes *LFS d'Eurostat*, ce qui a conduit à une meilleure quantité de données disponibles.

**Figure 10 :** Prévalence des TMS (en %) selon l'âge, l'année d'enquête LFS et le pays.



## 14. Apports potentiels de l'utilisation de modèles compartimentaux

Un modèle compartimental est un type de modèle utilisé en épidémiologie et en biologie des populations pour représenter les changements de taille ou de proportion d'une population au cours du temps. Il est souvent utilisé pour étudier la prévalence des maladies au sein d'une population (Cauchemez et al., 2019; Hozé et al., 2020). Ce type de modèle peut notamment être utilisé pour distinguer l'effet de plusieurs variables sur la survenue d'une pathologie (prévalence) en utilisant des compartiments pour représenter différents états de santé de la population, tout en reproduisant les dynamiques non linéaires propres aux maladies transmissibles (M'Kendrick, 1925; Kermack et al., 1927). Ces modèles ont gagné en popularité ces derniers temps en raison de leur rôle crucial dans la gestion de la pandémie de Covid-19. Ils ont notamment permis de simuler l'évolution de la maladie dans la population en utilisant des données démographiques et épidémiologiques et ont été utilisés pour évaluer l'impact des différentes stratégies de confinement et de distanciation sociale sur la transmission du virus (Rubin et al., 2021).

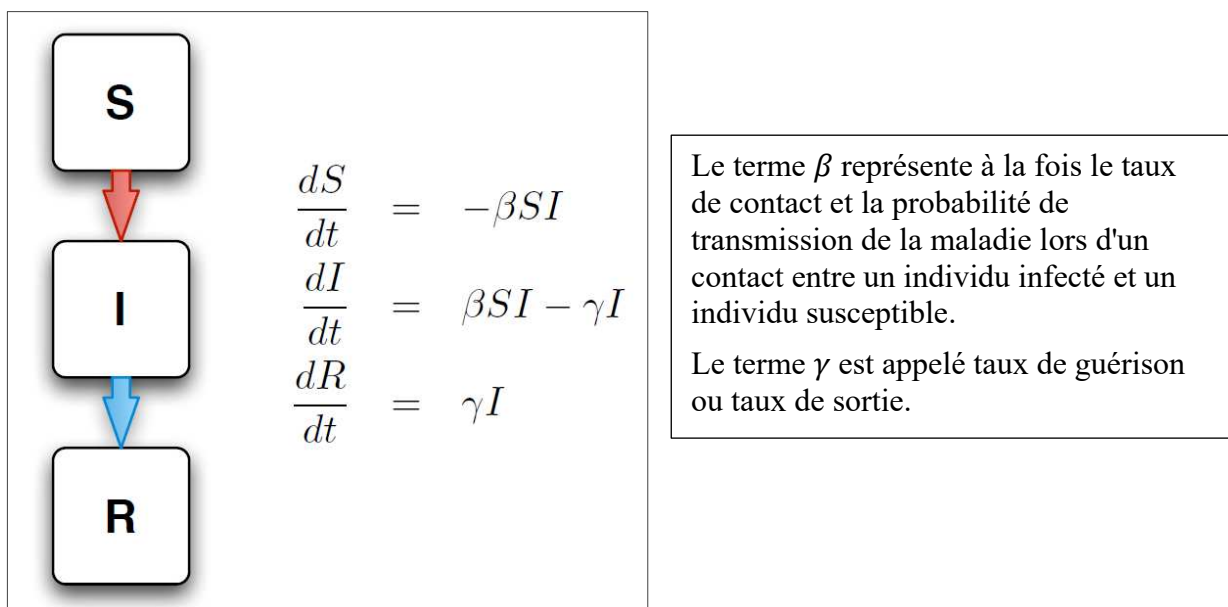
Les modèles compartimentaux sont généralement formalisés sous forme d'équations différentielles qui décrivent l'évolution des différents compartiments au fil du temps. La **figure 11** présente un exemple de représentation de modèle SIR. Ce modèle est généralement utilisé pour simuler la propagation d'une maladie dans une population. Il se compose de trois compartiments : les individus susceptibles (S), les individus infectés (I), et les individus rétablis (R). Les équations différentielles utilisées pour décrire l'évolution de la maladie dans chaque compartiment sont les suivantes :

- $\frac{dS}{dt} = -\beta S \frac{I}{N}$  : cette équation décrit le passage des individus du compartiment susceptibles au compartiment infecté au cours du temps. Le terme  $\frac{I}{N}$  est la densité infectieuse, c'est-à-dire le nombre d'individus infectés par rapport à la taille totale de la population.



- $\frac{dI}{dt} = \beta S \frac{I}{N} - \gamma I$  : cette équation décrit le passage des individus du compartiment infectés au compartiment rétablis cours du temps. Le terme  $\beta S \frac{I}{N}$  mesure l'entrée de nouveaux individus infectés dans le compartiment, tandis que le terme  $\gamma I$  mesure le taux de sortie des individus infectés (soit par guérison, soit par décès).
- $\frac{dR}{dt} = \gamma I$  : cette équation décrit le taux de changement des individus rétablis au cours du temps. Le terme  $\gamma I$  mesurant le nombre d'individus qui sortent du compartiment des infectés pour entrer dans celui des rétablis.

**Figure 11:** Exemple de représentation de modèle SIR (susceptible, infecté, rétablis) (Auchincloss & Diez Roux, 2008; Brauer, 2017; Jung, 2018; Rubin et al., 2021)



En résumé, le modèle SIR utilise des équations différentielles pour simuler l'évolution de la maladie dans une population en utilisant des taux de contact ( $\beta$ ), de guérison ( $\gamma$ ) et les nombres de personnes dans chaque compartiments (S, I, R). Ces taux permettent de simuler les entrées et les sorties des individus dans les différents compartiments en utilisant les données démographiques et épidémiologiques et ainsi de mieux comprendre les dynamiques de la maladie. Il existe de nombreuses autres formules qui peuvent être utilisées dans les modèles compartimentaux, selon les données disponibles et les objectifs de l'analyse. Par ailleurs, l'utilisation des modèles compartimentaux dans l'exemple décrit précédemment peut présenter quelques avantages et limites qui sont présentés dans le **tableau 8**.

**Tableau 8** : Avantages et limites de l'utilisation de modèles compartimentaux pour étudier l'effet de l'âge et du temps de travail sur la survenue des TMS dans une population de travailleurs (Auchincloss & Diez Roux, 2008; Brauer, 2017; Jung, 2018; Rubin et al., 2021).

Avantages des modèles compartimentaux	Limites des modèles compartimentaux
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permettent de prendre en compte les différentes dimensions de l'âge et du temps de travail et de modéliser leur influence sur la survenue des TMS de manière explicite.</li> <li>• Permettent de simuler l'évolution de l'incidence des TMS dans la population étudiée et de mieux comprendre les dynamiques à l'œuvre.</li> <li>• Peuvent être utilisés avec des données longitudinales, ce qui permet de suivre l'évolution des risques au fil du temps et de mieux comprendre les effets à long terme de l'âge et du temps de travail.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peuvent être complexes à mettre en œuvre et à interpréter, en particulier si les données sont peu homogènes ou si les effets de l'âge et du temps de travail sont difficiles à séparer.</li> <li>• Peuvent nécessiter l'ajustement de plusieurs paramètres et peuvent être sensibles aux choix effectués lors de la modélisation.</li> <li>• Ne permettent pas toujours une bonne capacité de prédiction et peuvent ne pas être adaptés à l'étude de phénomènes à court terme ou de phénomènes qui varient rapidement dans le temps.</li> <li>• Peuvent rencontrer des difficultés à prendre en compte les variations dans les populations en termes de risque d'exposition à la maladie ou de vulnérabilité.</li> </ul>

Par ailleurs la loi d'action de masse, selon laquelle le taux de transmission d'une maladie est proportionnel à la densité infectieuse (c'est-à-dire le nombre d'individus infectés par rapport à la taille totale de la population), est un concept clé du modèle SIR. Cette loi est souvent utilisée pour l'étude des maladies transmissibles, dont le risque pour les individus susceptibles dépend du nombre ou de la densité des individus infectieux, mais il est important de noter qu'elle ne s'applique pas aux maladies non transmissibles, pour lesquelles le nombre où la densité de malades ne modifie pas le risque pour les individus susceptibles. En effet, pour les TMS, cette loi ne s'applique pas, car aucune raison ne laisse penser que le risque pour les individus susceptibles (S) peut être directement proportionnel au nombre d'individus affectés (I). A titre d'exemple, la prévalence de certains TMS tels que les douleurs de dos peut être influencée par des facteurs tels que le stress et la sédentarité, qui ne sont pas directement liés au nombre d'individus atteints par la maladie.

## 15. Le choix des modèles sérocatalytiques

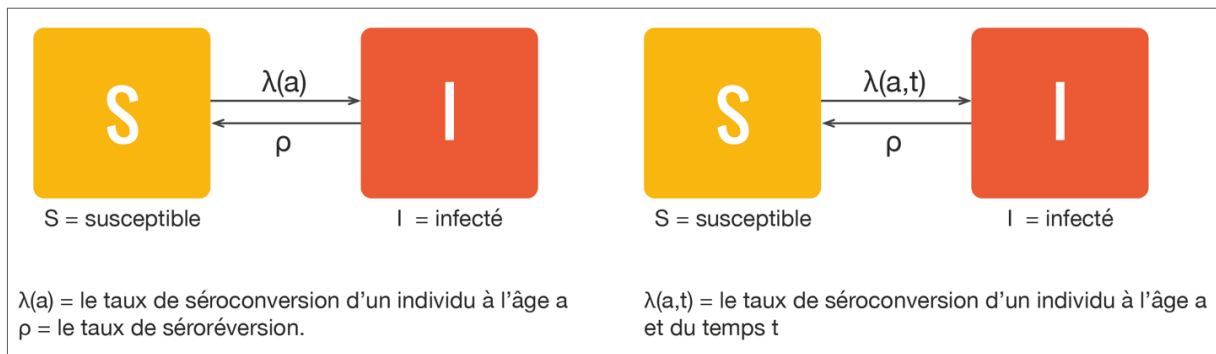
Comme mentionné précédemment, les données finlandaises issues des enquêtes *LFS d'Eurostat* sont de bonne qualité pour l'analyse des prévalences des TMS selon l'âge et au cours du temps. Un des objectifs de cette thèse est de distinguer l'effet de l'âge et du temps séculaire sur la survenue de ces TMS. Bien que les données individuelles sur les travailleurs soient exhaustives pour chaque année, nous disposons seulement de trois années d'enquêtes. Le manque de profondeur longitudinal des données rend donc difficile la mise en place de projections des TMS. Pour pallier ce manque de profondeur, nous avons choisi de tester l'utilisation de modèles sérocatalytiques qui sont usuellement utilisés pour inférer l'évolution de l'incidence de pathologies infectieuses à partir de données de prévalence collectées au cours d'enquêtes transversales simples ou répétées, ce que nous avons appliqué aux pathologies non-transmissibles comme les TMS.

Les modèles sérocatalytiques sont des modèles mathématiques de type compartimentaux utilisés initialement en épidémiologie pour décrire à partir des prévalences des taux d'incidences de maladies infectieuses (Yman et al., 2016). Ces modèles permettent d'analyser les données de séroprévalences de la maladie (c'est-à-dire le pourcentage de personnes dans une population ayant des anticorps contre la pathologie [CDC, 2020]) en fonction de l'âge des individus infectés et de l'évolution de la maladie dans le temps. Cette méthode permet notamment de retracer l'historique de propagation de la maladie (Ades & Nokes, 1993; Hozé et al., 2021). Pour décrire les taux d'incidence, les modèles sérocatalytiques s'appuient sur des fonctions mathématiques qui peuvent décrire la dynamique de l'exposition à l'agent pathogène, la probabilité d'acquérir la maladie en cas d'exposition et l'effet de l'immunité croisée (Hozé et al., 2020). Il permet ainsi de déterminer la proportion de personnes qui développeront la maladie à un âge donné, en fonction de l'âge auquel elles ont été exposées (Drakeley & Cook, 2009). Un autre paramètre important qu'il peut être pertinent d'intégrer dans ce type de modèle, est le taux de réversion correspondant à un passage du compartiment I au compartiment S correspondant à une perte ou diminution d'immunité contre la pathologie (donc perte d'anticorps). En utilisant des données de prévalence de la maladie, il est possible de calibrer les modèles sérocatalytiques et de les utiliser pour estimer les taux d'incidence futurs en fonction de l'âge. Ces modèles permettent donc entre autres de mieux comprendre l'effet de

l'âge et du temps séculaire sur la survenue d'une pathologie en utilisant des fonctions mathématiques. (Kyomuhangi & Giorgi, 2022).

La **figure 12** présente deux exemples de modèles sérocatalytiques de réversion. Le paramètre  $\lambda$  représente la force d'infection<sup>6</sup> correspondant au flux de population passant du compartiment susceptible d'être infectés (S) au compartiment infecté (I). Le paramètre  $\rho$  représente le taux de réversion<sup>7</sup> correspondant au flux de population passant du compartiment I à S, en d'autres termes ce paramètre modélise le taux de personnes se rétablissant suite à une infection. Dans la **figure 12** deux cas de figures sont représentés, le premier considère que la force d'infection dépend uniquement de l'âge est exprimé par  $\lambda(a)$  le deuxième considère qu'elle dépend à la fois de l'âge et du temps séculaire et est exprimé par  $\lambda(a, t)$ .

**Figure 12** : Modèle sérocatalytique réversible



Les dynamiques temporelles qui régulent la proportion d'individus susceptibles d'âge  $a$ , correspondants à  $P(a)$ , s'expriment par l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dP}{da} = \lambda(1 - P(a)) - \rho P(a)$$

Dans l'équation ci-dessus,  $\lambda$  est une mesure de l'intensité de la transmission sous-jacente qui est associée à un indicateur de référence de transmission, tandis que  $\rho$  correspondant au taux de réversion et qui est généralement fixe et supposé constant (Sepúlveda et al., 2015). Cependant certains auteurs (Akpogheneta et al., 2008; Bosomprah, 2014) suggèrent que  $\rho$  peut être dépendant d'un ou de plusieurs facteurs. Il est à noter que les inverses des estimations de  $\lambda$  et  $\rho$ , c'est-à-dire  $1/\lambda$  et  $1/\rho$ , indiquent le nombre estimé d'années après lesquelles la

<sup>6</sup> ou séroconversion  
<sup>7</sup> ou séroration

séroconversion et la séroration se produiraient, respectivement (c'est-à-dire le temps moyen passé dans les compartiments respectifs). L'un des profils de transmission le plus simple qui jusqu'à présent a été proposé pour modéliser le taux de séroconversion  $\lambda(a)$  suppose une transmission constante et indépendante de l'âge, donc  $\lambda(a) = \lambda$  pour tout  $a$ . Dans ce cas, l'équation différentielle précisée en dessus donne la solution suivante :

$$P(a) = \frac{\lambda}{\lambda + \rho} (1 - e^{-(\lambda+\rho)a})$$

Dans l'équation ci-dessus, la proportion de S aux âges avancés atteint une valeur maximale d'environ  $\lambda/(\lambda + \rho)$ . En d'autres termes, dans une cohorte d'une population initialement naïve d'une pathologie,  $P(a)$  atteindra finalement un plateau auquel le nombre d'individus « séroconvertissants » sera le même que le nombre d'individus « sérorationnables » (Corran et al., 2007; Sepúlveda et al., 2015). Il est par la suite possible d'envisager de modéliser une force d'infection ou de réversion dépendant de l'âge et/ou du temps séculaire. Nous avons donc choisi d'utiliser ces modèles dans le cadre de nos travaux sur les TMS pour investiguer la faisabilité de leur application dans l'analyse d'affections non-transmissibles dans le but de reconstruire les dynamiques d'évolutions du passé pour être en mesure par la suite de produire des projections de ces pathologies.

## 16. Modèle sérocatalytiques adaptés aux TMS

Dans le cadre du troisième article présenté au chapitre 4, notre étude visait à comprendre les schémas d'évolution des TMS en analysant des données transversales répétées de ces pathologies. À partir de ces données, nous avons adapté les modèles sérocatalytiques aux affections non-transmissibles en considérant la probabilité de survenue des TMS par une « force d'affection » (FOA) dans le temps, notée  $\lambda$  pour suivre l'analogie avec la FOI, en fonction de la prévalence des TMS stratifiée selon l'âge. Cependant, l'influence de l'âge sur la survenue de TMS n'est pas le seul facteur qui peut potentiellement influencer la survenue des TMS. Différentes générations peuvent être exposées à divers risques chaque année, le temps séculaire étant utilisé comme indicateur de l'évolution des expositions telles que les facteurs de risque biomécaniques, psychosociaux ou organisationnels. Ici,  $\rho$  rend compte du flux d'individus qui ont eu des TMS et qui s'en sont remis (taux de guérison qui évolue parfois par épisode en pouvant régresser puis récidiver).

Dans le cadre de ce travail nous avons choisi d'utiliser une estimation bayésienne par la méthode de chaînes de Markov Monte Carlo (MCMC) (Spall, 2003) qui est un moyen efficace de quantifier l'incertitude des paramètres d'un modèle, en utilisant une approche probabiliste. Elle se distingue de l'approche fréquentiste, qui se base sur l'hypothèse de la répétition des expériences pour établir des probabilités. L'une des principales raisons de ce choix est qu'une estimation bayésienne permet de prendre en compte les informations précédemment disponibles sous forme de distributions de probabilité a priori, plutôt que de les ignorer comme le fait l'approche fréquentiste. Cela permet de mieux capturer l'incertitude des paramètres et de produire des estimations plus robustes (Jackman, 2000; Hamra et al., 2013). Par ailleurs, l'estimation bayésienne permet de produire des intervalles de crédibilité<sup>8</sup> qui reflètent réellement l'incertitude des paramètres, contrairement à l'approche fréquentiste qui ne donne que des points d'estimation (Flor et al., 2020). En utilisant des techniques de MCMC, il est

---

<sup>8</sup> Les intervalles crédibles, également connus sous le nom d'intervalles crédibles bayésiens, sont un moyen de quantifier l'incertitude dans les paramètres d'un modèle statistique (Eberly & Casella, 2003). Ces intervalles sont l'équivalent bayésien des intervalles de confiance, qui sont utilisés dans les statistiques fréquentistes. Un intervalle de crédibilité est une plage de valeurs pour un paramètre, telle qu'il existe un certain degré de probabilité (généralement 95 %) que la vraie valeur du paramètre se situe dans cette plage.

possible de générer des échantillons de paramètres à partir desquels on peut calculer des statistiques d'intérêt. Enfin, l'estimation bayésienne permet également de gérer des modèles complexes sur des données incomplètes de manière efficace, en utilisant des techniques de simulation pour remplir les lacunes dans les données (Ramoni & Sebastiani, 1998).

En résumé, l'estimation bayésienne en MCMC offre une approche probabiliste qui prend en compte les informations précédemment disponibles, produit des intervalles de crédibilités, et permet de gérer efficacement des modèles complexes sur des données incomplètes, ce qui la rend plus appropriée que l'approche fréquentiste dans le cas de notre étude.



## **Chapitre 4**

Reconstruire la dynamique passée des TMS  
liées aux travail et projection des tendances  
futures en utilisant des modèles  
sérocatalytiques

## 17. Synthèse de l'article

### 17.1. Objectifs

L'objectif de cette étude est de reconstruire les dynamiques passées des TMS liés au travail et de projeter leurs tendances futures en évaluant l'utilisation de modèles sérocatalytiques. Pour ce faire, nous avons d'abord analysé les prévalences de TMS issues des enquêtes *LFS d'Eurostat* collectées en 1999, 2007 et 2013, par âge, sexe et différentes catégories professionnelles. Nous avons ensuite testé différentes combinaisons de modèles inspirés des modèles sérocatalytiques et adaptés aux TMS afin de sélectionner les meilleurs modèles. Enfin, nous avons appliqué le meilleur modèle pour projeter l'évolution des TMS à l'horizon 2035, en appliquant les données de projections de prévalences aux données de projections démographiques de la populations finlandaises.

#### 17.1.1. Les données utilisées

Les données de cette étude proviennent des enquêtes *LFS Eurostat* pour la Finlande selon les 3 modules ad hoc sur la santé et la sécurité au travail de 1999, 2007 et 2013 (*EU Labour Force Survey - Modules*). Les données ont été pondérées selon les recommandations du site d'*Eurostat* (*Database - Eurostat, 2019*) et stratifiées par âge, sexe et catégories professionnelles à l'aide de la classification internationale type des professions (ISCO-08) (*International Labour Organization, 2022*). Seuls les individus âgés de 20 à 60 ans, représentant la majeure partie de la population active, ont été inclus dans l'analyse. La classification ISCO-08 a été divisée en trois catégories basées sur les expositions professionnelles : cols bleus, cols blancs intermédiaires et cols blancs supérieurs. Les données de projection démographique finlandaises ont été obtenues à partir des données du *World Population Prospects* (WPP)

#### 17.1.2. Définition de cas

Cette étude porte sur les TMS liés au travail. Dans les questionnaires la question qui nous intéressait était celle pour laquelle les personnes étaient interrogées sur leur « type de problèmes de santé liés au travail » au cours des 12 derniers mois. Dans les 3 enquêtes, deux

types de codage ont été utilisés pour classer les réponses concernant les problèmes de santé liés au travail : le premier (1999) a organisé les réponses en catégories générales de TMS et autres pathologies liées au travail, tandis que le second (2007 et 2013) a fourni des définitions plus détaillées, y compris des catégories spécifiques pour les lombalgies, les membres supérieurs et inférieurs. " (le détail est dans le matériel complémentaire S2 de l'article). Pour comparer les données des trois années, les variables d'intérêt de 2007 et 2013 ont ensuite été combinées avec celles de 1999 en créant une variable TMS à deux catégories : "au moins problème musculaire, osseux ou articulaire au cours des 12 derniers mois : oui/non".

### 17.1.3. Les 11 modèles sérocatalytique adapté aux TMS

Dans cette étude nous avons utilisé les modèles décrits dans le chapitre 3 section 16 pour lesquels nous avons construit 11 modèles comprenant différents  $\lambda$  et  $\rho$  (le détail est accessible dans le tableau 1 de l'article). Quatre hypothèses pour FOA ( $\lambda$ ) – constante au cours du temps, dépendante de l'âge, dépendante du temps et dépendante de l'âge et du temps ; et trois hypothèses pour  $\rho$  - aucune influence, influence constante au cours du temps et dépendante du temps ont été testées. L'hypothèse dépendante du temps pour  $\rho$  suggère que l'évolution de facteurs externes, tels que les méthodes diagnostiques et thérapeutiques, peut influencer le retour à un état susceptible. Cela peut inclure des changements dans les recommandations de traitement au fil du temps, comme les recommandations qui consistaient à préconiser du repos en opposition aux recommandations plus récentes sur lesquelles il est plutôt préconisé de pratiquer des exercices légers pour permettre aux tissus de se renforcer et/ou de se régénérer.

### 17.1.4. Estimations à l'aide du cadre statistique bayésien

Nous avons utilisé le cadre statistique bayésien avec un échantillonnage de type Markov Chain Monte Carlo (MCMC) pour ajuster et évaluer les 11 modèles. Les données ont été stratifiées par âge, sexe et catégorie socio-professionnelles. Nous avons utilisé des distributions a priori uniformes pour tous les sous-ensembles testés. Des échantillons postérieurs de paramètres ont été utilisés pour calculer la médiane et les intervalles de crédibilité à 95 % des paramètres du modèle et les estimations du fardeau des TMS à l'horizon 2035.

### 17.1.5. Sélection du meilleur modèle, validation et projection

Le critère d'information sur la déviance (DIC) a été utilisé pour comparer et évaluer différents modèles statistiques. Cette mesure évalue l'ajustement du modèle aux données, compte tenu du nombre de paramètres dans le modèle. Les modèles avec des valeurs DIC plus faibles sont considérés comme mieux adaptés aux données. Par exemple, lors de la comparaison de deux modèles, si la différence de leurs valeurs DIC est inférieure à 5, ils sont considérés comme fournissant des explications aussi bonnes des données (voir le matériel complémentaire S3 de l'article pour le détail de la formule utilisée) (Spiegelhalter et al., 2014).

Afin d'assurer la fiabilité des résultats de l'analyse bayésienne, plusieurs techniques ont été utilisées. Tout d'abord, les vérifications de la convergence des distributions postérieures ont été évalués visuellement (forme de chenille). Deuxièmement, les prévalences observées y des TMS selon l'âge et les années ont été comparées aux distributions postérieures répliquées yrep (provenant des distributions postérieures) pour confirmer l'exactitude du modèle dans la capture des tendances sous-jacentes. Troisièmement, nous avons généré des ensembles de données "simulées" pour chaque modèle, qui ont été sélectionnées de manière aléatoire et répétée parmi les données postérieures issues des modèles pour évaluer les performances de chaque modèle. Quatrièmement, la qualité de l'ajustement du modèle sur les données répliquées a été testée en simulant les données des distributions répliquées issues des médianes des postérieures et en retestant les modèles pour confirmer leur capacité à ajuster les données avec précision. Enfin, les modèles ont été évalués pour leur capacité à se distinguer les uns des autres et leur capacité à ajuster et à représenter les données (qualité de l'ajustement) à l'aide de données synthétisées aléatoirement (pour plus d'informations les matériaux supplémentaires S4 de l'article présentent les résultats) (Gelman et al., 2021).

Pour projeter les tendances futures des TMS, nous avons utilisé des modèles entraînés sur des données de 1999 à 2013 et avons supposé que les mêmes conditions concernant la dépendance de  $\lambda$  et  $\rho$  à l'âge et au temps se poursuivraient. Nous avons appliqué ces projections de prévalences aux projection démographiques de la population générale finlandaise pour les individus âgés de 20 à 60 ans pour estimer le nombre de cas des TMS de 2014 à 2035. Les données de projection démographique ont été obtenues à partir des données du WPP (World Population Prospect, 2022b).

## 17.2. Résultats

### 17.2.1. Description des données

Au cours des trois cycles des enquêtes *LFS d'Eurostat*, 51 797 participants finlandais ont été inclus et la prévalence mondiale des TMS liés au travail est passée de 14,9 % [IC à 95 % : 14,5-15,0] en 1999 à 18,0 % [IC à 95 % : 17,4- 19,0] en 2013 [7]. Les prévalences globales de TMS augmentaient avec l'âge et l'année pour chaque sous-groupe testé (tableau 2 de l'article). Les personnes de moins de 30 ans avaient systématiquement des prévalences significativement plus faibles par rapport aux autres groupes d'âge. Par exemple, en 1999, les prévalences variaient de 6,8 % [IC 95 % : 6,1-7,6] pour les 20-30 ans à 13,5 % [IC 95 % : 12,6-14,4] pour les 30-40 ans. Les prévalences les plus élevées de TMS ont été systématiquement observées chez les personnes de plus de 40 ans. Au total, les prévalences pour les trois cycles étudiés étaient plus faibles chez les hommes que chez les femmes, avec des prévalences globales de 13,8 % [IC 95 % : 13,3-14,2] chez les hommes et de 19,6 % [IC 95 % : 19,0-20,0] chez les femmes. Pour les trois cycles, les prévalences pour les cols bleus et les cols blancs intermédiaires étaient proches et avaient des intervalles de confiance qui se chevauchaient, tandis que les prévalences pour les cols blancs étaient significativement plus faibles.

### 17.2.2. Modélisation sérocatalytique pour évaluer l'histoire de survenue des TMS

La comparaison des 11 modèles testés sur les données finlandaises à l'aide du *Deviance Information Criterion* (DIC) nous a permis de montrer que pour presque tous les sous-groupes étudiés, le modèle 10, qui considère que le  $\lambda$  dépend de l'âge et du temps séculaire et que  $\rho$  est constante dans le temps, correspondait le mieux aux données, comme l'indique sa valeur de DIC significativement plus faible (voir figure 1 de l'article). Le modèle 3 est le modèle qui s'ajuste le moins bien aux données observées, avec un DIC significativement plus élevé que les autres modèles. En revanche, les modèles 2, 8 et 11 s'ajustent aux données observées du sous-groupe des cols blancs. Le détail des tests de validation pour chaque modèle se trouve dans le matériel complémentaire de l'article. La figure 2 présente les résultats du modèle 10 ajusté aux prévalences globales finlandaises de TMS pour les trois cycles. Comme le montre la figure 2.B, le modèle 10 est capable de représenter correctement les prévalences de TMS qui

augmentent avec l'âge pour 1999, 2007 et 2013 mais aussi de prendre en compte l'augmentation des prévalences globales par an. En revanche, certains des autres modèles présentés dans les documents supplémentaires S6 étaient capable de représenter correctement les données de prévalence observées, mais uniquement selon l'âge ou le temps séculaire et pas selon les deux paramètres pris en compte simultanément. En plus du modèle 10, le modèle 11 peut représenter les données de manière relativement satisfaisante selon l'âge et le temps séculaire, mais son ajustement n'est pas aussi précis que celui du modèle 10.

### 17.2.3. Projection des tendances temporelles des TMS d'ici 2035

Les projections de la prévalence globale des TMS de 2014 à 2035, selon le modèle 10, montrent une augmentation considérable de la prévalence des TMS de 18,1 % [IC 95 % : 14,7-21,4] en 2014 à 24,4 % [IC 95 % : 20,8-27,9] en 2035 (figure 2.B). De plus, en appliquant ces projections de prévalence aux projections démographiques finlandaises du WPP, nous avons constaté que le nombre de cas de TMS devrait continuer à augmenter dans les années à venir, passant environ 12 868 cas sur 70 291 individus en 2013 à 17 042 chez 69 440 individus en 2035 (Figure 2C). Il convient de noter que selon les projections démographiques du WPP, la population finlandaise devrait rester constante jusqu'en 2035. Comme prévu, lors de l'examen des données de prévalence des TMS par groupe d'âge à partir de 2013 par rapport aux projections démographiques du WPP, nous avons constaté que le nombre estimé des cas de TMS reste stable entre 2014 et 2035, avec une estimation de 12 453 cas pour 2035. Cela représente une sous-estimation de 4 589 individus soit environ 6% par rapport aux projections du modèle 10.

## 17.3. Discussion

Dans cette étude, nous avons cherché à reconstruire la dynamique passée des TMS liés au travail pour ensuite produire des projections des tendances futures de ces pathologies. Les données des enquêtes *LFS d'Eurostat* menées en 1999, 2007 et 2013 ont montré une augmentation globale d'environ 4 % de la prévalence des TMS au sein de la population active en Finlande au cours de cette période. De plus, cette augmentation n'était pas uniforme dans tous les groupes d'âge. En effet, la prévalence des TMS par âge a augmenté au fil du temps, les

augmentations les plus élevées étant observées dans les catégories d'âge plus âgées (plus de 40 ans). Nous avons également mis en évidence une prévalence plus élevée chez les femmes par rapport aux hommes et une prévalence plus faible chez les cols blancs par rapport aux cols bleus et cols blancs intermédiaires. Pour examiner plus en détail l'impact de l'âge et du temps séculaire sur l'apparition de TMS, nous avons évalué 11 combinaisons de modèles sérocatalytiques, qui sont couramment utilisés pour étudier les maladies infectieuses que nous avons adaptées à des conditions non transmissibles telles que les TMS. Cette étude a mis en évidence que les projections pour 2035 des TMS liés au travail en Finlande sont fortement influencées par le modèle choisi. Ici, le meilleur modèle, comprenant une FOA dépendante de l'âge et du temps séculaire, en considérant que le taux de réversion reste constant dans le temps. Grâce à des processus de validation et de sélection des modèles, l'étude met l'accent sur la nécessité d'une sélection rigoureuse des modèles pour prédire le futur fardeau des TMS.

Bien que cette étude ait fourni des informations précieuses sur la relation entre l'âge, le temps séculaire et la prévalence des TMS en Finlande, il est essentiel de reconnaître certaines limites dans l'interprétation des résultats. L'une des limites résulte du fait que les données d'*Eurostat* sont collectées au niveau national, de sorte qu'elles peuvent ne pas saisir les variations régionales ou locales susceptibles d'affecter les projections. En outre, il convient de noter que les données peuvent ne pas être comparables entre les pays, ce qui pourrait entraver la capacité de faire des comparaisons ou des projections entre pays. Une autre limite à considérer réside dans le manque d'information sur la fiabilité de l'autodéclaration de TMS dans ces enquêtes, qui empêchent une évaluation précise de la sensibilité et de la spécificité de cet indicateur, ce qui peut avoir un impact sur les estimations de prévalence. De plus, la formulation de la question n'a pas été exactement posée de la même façon entre chaque vague d'enquête ce qui a pu également biaiser les résultats.

Une autre limite est que dans cette étude, nous avons utilisé l'ensemble de données le plus approprié pour notre recherche, en particulier les données finlandaises des enquêtes *LFS d'Eurostat*, qui ont fourni les informations les plus précises sur les TMS entre chaque enquête. Cependant, il est important de noter que les projections démographiques finlandaises du WPP estiment une évolution démographique relativement stable dans le temps, ce qui s'écarte des projections démographiques dans le monde qui estiment une augmentation importante de la population dans les prochaines années (Roser & Rodés-Guirao, 2013). Pour autant, en dépit d'un contexte de stabilité démographique par effectifs et par âge, nos résultats démontrent que



l'utilisation de modèles sérocatalytiques permet d'obtenir des estimations supérieures par rapport aux projections courantes, confirmant ainsi les hypothèses émises à l'origine de notre étude. Une autre limite à prendre en compte est que les projections démographiques finlandaises présentées dans cette étude sont des projections de la population générale. Si les tranches d'âge retenues pour l'analyse (20 à 60 ans) représentent la population en âge de travailler, il est néanmoins possible que les populations étudiées ne soient pas totalement représentatives de la population active. En effet, l'évolution des profils des populations actives dans les années à venir reste incertaine, plusieurs facteurs peuvent contribuer au vieillissement de la main-d'œuvre finlandaise. Par exemple, le vieillissement de la population peut conduire à une main-d'œuvre plus âgée, car les personnes âgées peuvent continuer à travailler plus longtemps en raison de l'augmentation de l'espérance de vie ou de changements dans les politiques de retraite. Il peut également y avoir des changements dans la composition de la population active, avec un pourcentage plus élevé de travailleurs âgés et un pourcentage plus faible de travailleurs plus jeunes. De plus, l'expérience subjective de la douleur chez les travailleurs interrogés entre 1999 et 2013 peut avoir varié d'une génération à l'autre, ce qui a potentiellement eu un impact sur les résultats de l'étude. Cette limite n'invalide pas nos conclusions sur la comparaison entre le modèle 10 et le modèle de projection classique, puisqu'elle est retrouvée dans les deux cas.

Le modèle 10, qui intègre le temps séculaire et l'âge dans l'évaluation de l'incidence des TMS, corrobore notre hypothèse selon laquelle la probabilité de TMS peut varier avec l'âge et le temps séculaire. En considérant l'effet de l'âge sur la force de l'affection, ce modèle tient compte plus généralement de la physiopathologie de la maladie expliquant une vulnérabilité qui croît avec l'âge. De plus, en considérant l'effet du temps séculaire sur la force de l'affection, le modèle constate que l'incidence des TMS peut être influencée par d'autres facteurs. En outre, les résultats de cette étude sont en adéquation avec ceux de la revue systématique de la littérature, qui met en évidence que l'incidence des TMS peut être influencée par des facteurs tels que les changements dans les expositions professionnelles, les perceptions de ces pathologies chez les patients et les soignants et les méthodes de prévention.

D'autre part, le modèle suppose que la probabilité de guérison est constante dans le temps, probablement en fonction du processus naturel de guérison du corps, qui peut ralentir avec l'âge, rendant le processus de guérison plus difficile. Cet aspect est validé par la littérature ;

cependant, il n'intègre pas la possibilité de changements diagnostiques et thérapeutiques, qui sont des facteurs qui pourraient avoir un rôle à jouer dans la guérison des TMS (Minetto et al., 2020). Par exemple, il y a 40 ans, le traitement des TMS reposait principalement sur le repos. En revanche, maintenant, divers traitements sont disponibles, y compris la thérapie physique, les médicaments et l'exercice, qui peuvent aider à soulager les symptômes et favoriser la guérison (Reinhold et al., 2014; Starovoytova, 2017; Van Eerd et al., 2022).

Pour diverses raisons, le taux de réversion est particulièrement difficile à mesurer dans cette étude. Premièrement, la capacité à traiter un TMS spécifique dépend du type de TMS (localisation dans le membre, gravité), et les données disponibles dans cette étude ne fournissent pas en détail les types de TMS étudiés. Cela signifie que nous avons potentiellement « lissé » des tendances qui pourraient varier entre différents types de TMS. Mais le modèle que nous avons conçu était justement pensé pour estimer la tendance moyenne des prévalences des TMS, sur le temps long, dans le fardeau des TMS toutes localisations confondues. Deuxièmement, nous avons travaillé sur des enquêtes répétées au fil du temps avec des intervalles de temps relativement grands entre les enquêtes, et il y a probablement une sous-déclaration importante des personnes qui ont ressenti de la douleur ou des TMS et qui se sont ensuite rétablies mais n'ont pas été incluses dans l'étude en raison d'une sous-déclaration. Cette sous-déclaration a pu conduire à une sous-estimation de la prévalence des TMS et du véritable taux de guérison par sous-groupe considéré.

## 17.4. Conclusion

Cette étude présente la première preuve de la pertinence de l'utilisation des modèles de maladies infectieuses appliquées aux conditions non transmissibles telles que les TMS. Nos résultats suggèrent que lorsqu'il s'agit de prédire l'évolution des TMS liés au travail, il ne suffit pas de considérer l'âge comme le risque principal de ces pathologies. Pour produire des projections des TMS avec précision les tendances temporelles des TMS sont aussi à prendre en compte pour évaluer la prévalence et l'incidence des TMS par âge et par période séculaire. Pour confirmer davantage ces résultats, les recherches futures devraient appliquer ces modèles aux données de prévalence avec une chronologie plus longue et examiner par exemple l'effet de l'évolution des expositions professionnelles dans la survenue de ces pathologies. Si ces études reproduisent nos observations, des analyses plus détaillées pourraient être menées pour

produire des projections plus précises des tendances des TMS, en tenant compte de facteurs tels que la fréquence d'exposition, le secteur d'activité, la région et le pays. Cette recherche a des implications importantes dans différents aspects : la prévention et la prédiction des TMS liés au travail, mais aussi la prévention d'une charge financière importante à long terme, y compris les coûts associés aux traitements médicaux, à la perte de productivité et l'absentéisme au travail.

## 18. Article

### Reconstructing past dynamics of work-related musculoskeletal disorders and projecting future trends: insight from serocatalytic models.

Hanifa Bouziri<sup>1,2\*</sup>, Nathanaël Hozé<sup>3</sup>, Yves Roquelaure<sup>4</sup>, Alexis Descatha<sup>4</sup>, Sylvie Hamon-Cholet<sup>5</sup>, William Dab<sup>1</sup>, Kévin Jean<sup>1,6</sup>

1. MESuRS laboratory, Conservatoire National des Arts et Métiers, 292 Rue Saint-Martin, 75003, Paris, France
2. PACRI unit, Conservatoire National des Arts et Métiers, Institut Pasteur, Paris, France,
3. Mathematical Modelling of Infectious Diseases Unit, Institut Pasteur, UMR2000, CNRS, 75015 Paris, France.
4. Inserm, EHESP, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail) – UMR\_S 1085, Univ Angers, Univ Rennes, 28 Roger Amsler, CS 74521, 49045, Angers Cedex 01, France
5. Centre for Employment and Labor Studies (CEET), in the French National Institut of Science, Technology and Craft (Cnam), Paris, France.
6. MRC Centre for Global Infectious Disease Analysis Imperial College London, United Kingdom.

\*Correspondence: [hanifa.bouziri@lecnam.net](mailto:hanifa.bouziri@lecnam.net)

#### Abstract:

##### Objectives

Musculoskeletal disorders (MSD) are a leading cause of disability and absenteeism in the workforce. This article aims to reconstruct past dynamics of work-related MSD and project their future trends using serocatalytic models.

##### Methods

We analysed Eurostat Labour Force Survey (LFS) data for 1999, 2007, and 2013. Serocatalytic models, commonly used for infectious disease studies, were adapted for non-communicable conditions such as MSD, exploring various assumption regarding age- and time-dependency in MSD incidence and recovery rates. Models were compared using the Deviance Information Criterion (DIC). Lastly, we compared the projections of the 2035 burden of MSD between the best model and a classical method assuming constant age-specific prevalence rates on MSD applied to demographic projections.

##### Results

The overall prevalence of MSD in Finland increased from 14.9% [CI95%: 14.5–15.0] in 1999 to 18.0% [CI95%: 17.4–19.0] in 2013. Based on the DIC, the best serocatalytic model assumed age- and time-dependence in MSD incidence and a constant recovery rate. Based on this best model, MSD burden projection for 2035 exceeded those obtained using the classical method by 6.6 %.

##### Conclusion

This study is the first to demonstrate the feasibility of using models originally developed for studying infectious diseases to study MSD. Our results suggest that assuming constant age-specific risks of MSD over time may lead to underestimate the projected burden of disease. This research illustrates that adapting modelling tools developed in the field of infectious disease may provide insight for anticipating the burden of chronic, work-related diseases.

##### Key terms

Modelling, epidemiology, musculoskeletal pain, occupational health; temporal trend.

## **Introduction:**

Musculoskeletal disorders (MSD) are a prevalent work-related health concern, with a significant proportion of workers identifying MSD as their most serious work-related health problem. Indeed, studies have shown that up to 60% of workers with a work-related health problem in the E.U. declare MSD as their primary concern, with some countries reporting prevalence rates as high as 80% [1]–[4]. MSD are also the second most common cause of disability and incapacity, as measured by years lived with disability (YLD) [5]–[7]. These disorders have a high potential for chronicity and can significantly impact individuals' quality of life, personally and professionally [8]. Additionally, MSD contributes to absenteeism at work, leading to a loss of productivity that can amount to 2% of the gross domestic product in Europe [9]. Despite efforts to understand and prevent MSD, many workplaces have not adequately adapted to changes in the occupational environment, including the rise of new technologies and work forms [1]–[7]. This presents significant challenges for both public health and business prosperity.

Furthermore, it has been described in the scientific literature that the incidence of most MSD of non-inflammatory origin increases significantly with age [14][15]. In a context where the ageing of the global working population is widely expected, it is reasonable to think that in the years to come, the burden of work-related MSD is likely to increase [16][17]. Producing projections of the MSD epidemic evolution could allow for guiding care and prevention policies and actions according to the foreseeable impact of their effectiveness. Common approaches to MSD projections apply current incidence or prevalence rates to population projections ignoring temporal trends in age-specific incidence [21]–[23]. One of the main limitations of this approach is that the risk of MSD by age is considered constant over time, disregarding any potential changes in occupational exposures or diagnosis [24]. Previous research has shown that in pathologies where exposures vary over time, the projection estimates can be significantly affected by whether or not changes in secular time are taken into account in the exposures [25]. Regarding MSD, a systematic review of the literature [26] and a study based on GBD data [27] have shown that different factors, in addition to ageing, could contribute to the time trends in MSD. These results suggest the relevance of considering possible changes in the age-specific incidence of MSD to produce accurate burden projections. However, a significant challenge encountered in the study of MSD pertains to the limited surveillance data, which typically provide prevalence-based information instead of incidence data. Consequently, inferring past age-specific dynamics and projecting future trends beyond demographic changes is difficult using solely prevalence data.

The field of infectious disease modelling has already developed tools that use repeated prevalence measurements (especially prevalence of disease-specific serological markers of a past encounter with a disease) over time to estimate the past dynamics of transmissible disease, considering age and secular trends. These models, known as serocatalytic models, can reconstruct the past incidence of pathology from prevalence data and differentiate the impact of age and time on the occurrence of pathologies [27][28]. This study aims to reconstruct past dynamics and project future trends of work-related MSD in the field of occupational health by investigating the use of serocatalytic models. To do so, we first analysed the prevalences of MSD from Eurostat's Labour Force Survey (LFS) collected in 1999, 2007, and 2013, age, gender, and professional categories. We then tested various combinations of models inspired by serocatalytic models and adapted to MSD to select the best model. Finally,

we applied the best model to project the evolution of MSD by 2035, considering the demographic and prevalence projections for age and secular time.

## **Method:**

### **Data source**

We used data collected as part of the Eurostat LFS for Finland. The LFS regularly collects data on labour-related statistics from 35 European countries through randomly selected participants from the general population. The ad-hoc modules on health and safety at work from 1999, 2007, and 2013 were used in this study [30]. We focused on data from Finland because the questionnaire items about MSD were consistent across the three survey rounds. All analyses were conducted using the sampling weights provided by Eurostat according to their recommendations and stratified by age, gender, and professional categories using the International Standard Classification of Occupations (ISCO-08) [31] [32]. Only individuals aged 20 to 60, covering most of the working population, were included in the analysis. To mitigate the potential for selection bias resulting from the healthy worker effect, individuals above 60 years of age were excluded from the study cohort. The ISCO-08 classification was divided into three job categories based on occupational exposures: blue-collar, intermediate white-collar, and higher white-collar (for the detail of each category see the supplementary materials S1).

### **Case definition**

This study focuses on work-related MSD. Questionnaires included an item in which individuals were asked about their "type of work-related health problems" over the past 12 months. Two types of coding were used to classify responses about work-related health problems. Two coding systems were used: the first (1999) organised responses into general categories of MSD and other work-related pathologies, while the second (2007 and 2013) provided more detailed definitions, including specific categories for low back pain, superior and inferior limbs"(the detail is in supplementary material S2). To compare data from the three years, the variables of interest from 2007 and 2013 were then combined with those from 1999 to be able to compare the three rounds by creating an MSD variable with two categories: "any muscle, bone, or joint problem in the last 12 months: yes/no".

### **The models adapted from serocatalytic models**

#### **Conceptual framework**

Compartmental models in epidemiology divide the population into various states related to a disease. The Kermack-McKendrick [33][34] model originally proposed a two-compartment system for conceptualising infectious diseases, where a population is divided into susceptible individuals (S) and infected individuals (I) and models the flow of individuals between these compartments. The model can account for recovery and reversion to a susceptible state depending on the disease. Serocatalytic models, commonly used to reconstruct the "force of infection" (FOI, or  $\lambda$ ) from age-stratified seroprevalence data, can be used to estimate incidence rates from longitudinal prevalence data in the field of infectious diseases. These models consider a constant FOI and "reversion rate" ( $\rho$ ) over time and can be modelled using exponential equations. The risk of individuals becoming infected or recovering depends on their age and the FOI or  $\rho$  [34][35].

In the case where a constant  $\lambda$  characterizes the disease's temporal trends over time, the age-specific prevalence for any age  $a$  can be expressed as:

$$P(a) = 1 - e^{-a*\lambda} \quad (1)$$

This allows us to estimate  $\lambda$  given age-specific prevalence data.

In the case where a  $\lambda$  and a constant  $\rho$  characterize the temporal trends of the disease over time, the age-specific prevalence can be expressed as:

$$P(\text{age}) = \left(\frac{\lambda}{\lambda+\rho}\right) * (1 - e^{-(\lambda+\rho)*\text{age}}) \quad (2)$$

### Modelling the age and time-dependency of MSD incidence

This study sought to understand the patterns of MSD evolution by analysing repeated cross-sectional data on age-specific MSD. Using this data, models were constructed for forecasting the likelihood of the onset of MSD referred to as the "force of affection" (FOA) denoted by  $\lambda$  to follow the analogy with the FOI, over time, based on the age-stratified prevalence of MSD within the population. However, the influence of age on MSD occurrence is not the only factor at play. Different generations may be exposed to various risks each year, with secular time used as a proxy for the evolution of exposures such as biomechanical, psychosocial, or organizational risk factors. To accurately distinguish the impact of age and secular time on MSD occurrence, eleven models with various combinations of  $\lambda$  and  $\rho$  were compared using the formula described in (1) and (2). Here,  $\rho$  accounts for the flow of individuals who had MSD and recovered from it. The study evaluated four hypotheses for FOA ( $\lambda$ ) - constant, age-dependent, time-dependent, and age-time-dependent influence; and three hypotheses for  $\rho$  - no influence, constant, and time-dependent influence. The time-dependent hypothesis for  $\rho$  suggests that the evolution of external factors, such as diagnostic and therapeutic methods, may influence the reversion to a susceptible state. Recent studies have revealed a shift in treatment recommendations for a given condition. Initially, a rest-based approach was advocated, however, more recent findings suggest that a more active approach, specifically incorporating light exercise, may be more beneficial for promoting tissue strength and regeneration [37]. The details of the 11 models with the different  $\lambda$  and  $\rho$  designs can be found in **table 1**.

### **Fitting the model using the Bayesian statistical framework**

We used the Bayesian statistical framework with Markov Chain Monte Carlo (MCMC) sampling to fit and evaluate the 11 models, adapted from those commonly used to study infectious diseases to non-communicable conditions like MSD. We stratified the data by age, gender, and work category and used uniform prior distributions for all subsets. Posterior samples of parameters were used to compute median and 95% credibility intervals of model parameters and burden estimates.

### **Selection of the best model, validation, and projection**

#### Selection

The deviance information criterion (DIC) was used to compare and evaluate different statistical models. This measure assesses the model's fit to the data, considering the number of parameters in the model. Models with lower DIC values are considered to fit the data better. For example, when comparing two models, if the difference



in their DIC values is less than 5, they are considered to provide equally good explanations of the data (see supplementary material S3 for the detail of the formula used) [38].

### Model assessment

To ensure the reliability of the results of the Bayesian analysis, several techniques were used. First, verifications of the convergence of the posterior distributions were assessed visually (caterpillar shape). Second, the observed prevalences  $y$  of MSDs by age and years were compared to the replicate posterior distributions  $y_{rep}$  (coming from the posterior distributions) to confirm the accuracy of the model in capturing the underlying trends. Thirdly, we generated "simulated" datasets for each model, which were randomly and repeatedly selected from the posterior data from the models to assess the performance of each model. Fourth, the goodness of fit of the model to the replicate data was tested by simulating data from subsequent replicate distributions and retesting the models to confirm their ability to fit the data accurately. Finally, the models were assessed for their ability to distinguish from each other (identifiability) and their ability to fit and represent the data (goodness of fit) using synthetic data (for more information the S4 supplementary materials of the article present the results).

To ensure the reliability of the results from the Bayesian analysis, several techniques were used. First, the mixing and convergence of the posterior distributions were visually assessed. Second, the posterior predictors were compared to the observed prevalence of MSD by age and years to the replicated posterior distributions to confirm the model's accuracy in capturing underlying trends. Third, we generated "synthetic" datasets for each model, which were derived by randomly and repeatedly selecting from the available posterior databases to evaluate the performance of each model. Fourth, the goodness of fit of the model to the replicate data was tested by simulating the data of the replicate distributions from the medians of the posteriors and retesting the models to confirm their ability to fit the data accurately. Finally, the models were assessed for their ability to distinguish from each other (identifiability) and their ability to fit and represent the data (goodness of fit) using randomly synthesized data (for more information the S4 supplementary materials of the article present the results) [39].

### Projection of the time trends of MSD by 2035

To project the future trends of MSD, we used the best model trained on data from 1999 to 2013 and assumed that the same conditions regarding the dependency of lambda and rho to age and time would continue. We applied these projections to population data for individuals aged 20 to 60 in Finland to estimate the prevalence of MSD from 2014 to 2035. The demographic projection data was obtained from the data of the World Population Prospect (WPP) [40]. Then, we used a classic method to project MSD, which consists of maintaining the prevalence of MSD at a constant rate by applying the prevalences values from 2013 by age to the demographic projection data from the WPP until 2035 [23].

## **Results:**

### **Description of data**

Over the three rounds of the Eurostat LFS surveys, 51,797 Finnish participants were included, and the global prevalence of work-related MSD increased from 14.9% [95% CI: 14.5-15.0] in 1999 to 18.0% [95% CI: 17.4-19.0] in 2013 [7]. The overall prevalences of MSD increased with age and year for each subgroup tested (Table

2). Individuals under 30 consistently had significantly lower prevalences compared to other age groups. For example, in 1999, the prevalences ranged from 6.8% [95% CI: 6.1-7.6] from 20-30-years to 13.5% [95% CI: 12.6-14.4] from 30-40-years. The highest prevalences of MSD were consistently observed in people over 40 years old. In total, the prevalences for the three rounds studied were lower in men than in women, with a global prevalences of 13.8% [95% CI: 13.3-14.2] in men and 19.6% [95% CI: 19.0-20.0] in women. For the three rounds, the global MSD prevalence increased over time for each age group. For blue-collar and intermediate white-collar workers, the MSD were close and had overlapping confidence intervals, while the prevalences for white-collar workers were significantly lower

### **Serocatalytic modelling to assess the history of occurrence of MSD**

The comparison of the 11 models tested on the Finnish data using the Deviance Information Criterion (DIC) allowed us to show that for almost all the subgroups studied, model 10, which considers that the  $\lambda$  depends on age and secular time and that  $\rho$  is constant over time, outperformed the others, as indicated by its significant lower DIC value (see **figure 1**). Model 3 is the model that fits the observed data the least well, with a significantly higher DIC than the other models. On the other hand, models 2, 8 and 11 were able to better fit the observed data from the white-collar subgroup. The detail of the validation tests for each model fitted can be found in the supplementary material. Figure 2 presents the results of fitted Model 10 to Finnish global MSD prevalences for the three rounds. As seen in Figure 2.B, Model 10 is capable of correctly representing MSD prevalences that increase with age for 1999, 2007, and 2013 but also of taking into account the increase in overall prevalences per year. In contrast, some of the other models presented in the supplementary materials **S5** could well represent the observed prevalence data, but only within specific parameters, like age categories or by year, but not both. Model 11 is the exception, which can represent the data relatively satisfactorily, but its adjustment is not as precise as that of Model 10.

### **Projection of the time trends of MSD by 2035**

Projections of overall MSD prevalence from 2014 to 2035, according to model 10, show a considerable increase in MSD prevalence from 18.1% [95% CI: 14.7-21.4] in 2014 to 24.4% [95% CI: 20.8-27.9] in 2035 (figure 2.B). Furthermore, when applying these prevalence projections to Finnish demographic projections from the World Population Prospects (WPP), we found that the number of MSD cases is expected to continue to increase in the coming years, with an estimated 12,868 cases out of 70,291 individuals in 2013 rising to 17,042 in 69,440 individuals in 2035 (Figure 2C). It should be noted that according to the WPP demographic projections, the Finnish population is expected to remain constant until 2035. As expected, when considering MSD prevalence data by age group from 2013 in relation to the WPP demographic projections, we found that the estimated number of MSD cases remains stable between 2014 and 2035, with an estimated 12,453 cases for 2035. The difference in the individual number between model 10 and the classical model is 4,589/69440, represented an underestimate of 6.6% for the simplest model compared to the model 10.

### **Discussion:**

In this study, we sought to reconstruct the past dynamics of work-related MSDs in order to then make projections of future trends in these pathologies. The data from Eurostat's LFS surveys conducted in 1999, 2007, and 2013

showed an overall increase of around 4% in the prevalence of MSD in Finland during this period. Furthermore, this increase was not uniform across all age groups. Instead, the age-specific prevalence of MSD increased over time, with the highest increases observed in older age categories (over 40 years). We also highlighted a higher prevalences in women compared to men and a lower prevalence in white-collar workers compared to blue-collar and intermediate white-collar workers. To further examine the impact of age and secular time on the occurrence of MSD, we evaluated 11 combinations of serocatalytic models, which are commonly used to study infectious diseases that we adapted for use with non-communicable conditions such as MSD. This study highlighted that the projections for 2035 for work-related MSD in Finland are highly influenced by the model chosen. Here the best model, referred to as FOA, depends on age and secular time, considering the reversion rate remaining constant over time. Through rigorous model validation and selection processes, the study emphasizes the need for careful model selection to predict future MSD burden.

While this study has provided valuable insights into the relationship between age, secular time, and the prevalence of MSD in Finland, it is essential to acknowledge certain limitations in interpreting the results. One of the limitations is the use of Eurostat's LFS data, on which the questionnaires were not distributed to the same people from one survey to another and which may not be complete or entirely accurate, in particular because that they are not collected over relatively long-time intervals (approximately every 6 years: 1999, 2007 and 2013). Although we have exhaustive data by age, sex and ISCO-08 by year, the data that we analyze are probably not representative of reality since we do not capture the temporal evolutions of MSD between each survey year. Additionally, the Eurostat data is collected at the national level, so it may not capture regional or local variations that could affect projections. Furthermore, it is worth noting that data may not be comparable across countries, which could hinder the ability to make cross-country comparisons or projections.

Another limitation is that in this study, we used the most appropriate data set for our research, specifically the Finnish data from the LFS Eurostat surveys, which provided the most accurate information on MSD between each survey. However, it is important to note that the Finnish demographic projections of the WPP estimate a relatively stable demographic evolution over time, which deviates from the demographic projections in the world which estimate a significant increase in the population in the coming years (Roser & Rodés-Guirao, 2013). Another limitation to consider is that the Finnish demographic projections presented in this study are general population projections. While the age groups selected for analysis (20 to 60 years) represent the working-age population, it is still possible that the populations studied may not be fully representative of the active population. This is because it is uncertain how the profiles of active populations will evolve in the coming years, as several factors may contribute to the ageing of the Finnish labour force. For instance, the ageing of the population can lead to an older labour force, as older individuals may continue working longer due to increases in life expectancy or changes in retirement policies. There may also be changes in the composition of the labour force, with a larger percentage of older workers and a smaller percentage of younger workers. Additionally, the subjective experience of pain among the workers surveyed between 1999 and 2013 may have varied across different generations, potentially impacting the study results.

Model 10, which incorporates the secular time and age into the assessment of the incidence of MSD, corroborates our hypothesis that the probability of MSD may vary with age and secular time. By considering the effect of age on the strength of affection, this model accounts for the fact that as people age, their bones and joints tend to weaken and become more susceptible to injuries and troubles. Additionally, by considering the effect of secular time on the strength of affection, the model finds that the incidence of MSD may be influenced by factors such as changes in occupational exposures, perceptions of these pathologies among patients and caregivers, and prevention methods.

On the other hand, the model assumes that the probability of recovery is constant over time, probably based on the body's natural healing process, which may slow down with age, making the healing process more difficult. This aspect is validated by literature; however, it does not incorporate the possibility of diagnostic and treatment changes, which are factors that could have a role to play in the recovery of MSD [41]. For example, 40 years ago, treatment for MSD relied primarily on rest. In contrast, now, various treatments are available, including physical therapy, medication, and exercise, which can help relieve symptoms and promote healing [42]–[44].

For various reasons, the reversion rate is particularly challenging to measure in this study. Firstly, the ability to treat a specific MSD depends on the type of MSD (location in the limb, gravity), and the data available in this study does not provide a detailed breakdown of specific types of MSD. Secondly, we worked on repeated surveys over time with relatively large time intervals between surveys, and there is likely a significant under-reporting of individuals who have experienced pain or MSD and have subsequently recovered but were not included in the study due to under-declaration. This under-declaration may have led to an underestimation of the true cure rate of MSD by sub-groups.

### **Conclusion:**

This study presents the first evidence of the relevance of the use of infectious disease models applied to non-communicable conditions such as MSD. Our findings suggest that when it comes to predicting the evolution of work-related MSD, simply considering age over an overall risk is not enough. Instead, to accurately project the time trends of MSD, it is relevant to evaluate the prevalence and incidence of MSD by age and secular time. To further confirm these results, future research should apply these models to prevalence data with a longer chronology and examine, for example, the effect of changes in occupational exposures in the occurrence of these pathologies. If these studies replicate our observations, more detailed analyses could be conducted to make more accurate projections of the trends of MSD, considering factors such as exposure frequency, sector of activity, region, and country. This research has significant implications in different aspects: the prevention and prediction of work-related MSD, but also to prevent of long-term significant financial burden, including costs associated with medical treatment, lost productivity, and disability benefits.

**Fundings:** The French National Institute for Science, Technology, and Management (Cnam) grant and the Health and Companies Chair (Cnam, Malakoff Humanis).

**Acknowledgement:** The authors of this article are solely responsible for the opinions expressed, and these views do not necessarily represent the views, decisions, or policies of their affiliated institutions. There are no competing interests to disclose, and the authors acknowledge funding from the Cnam-Malakoff Humanis "Health and Companies" Chair. However, the funder was not involved in the study design, data collection and analysis, decision to publish, or manuscript preparation.

**Contributor statements:** K.J., W.D., and H.B. designed the project. K.J. and W.D. directed the project. H.B. and SH-C retrieved the LFS data from the Eurostat database. N.H., A.D. and Y.R. helped with the orientation of the project. N.H. helped with the design of the serocatalytic models. H.B. extracted and analysed the analysed. N.H. and K.J. doubled proof of the results. A.D. and Y.R. brought their expertise in ergonomics and MSD epidemiology to the interpretation of the results. H.B. wrote the manuscript verified by K.J. and W.D. and in consultation with N.H., A.D. and Y.R.

## Tables and figures:

**Table 1:** Models definitions

	Force of affection FOA				Reversion rate $\rho$		
	$\lambda = f(\text{cst})$	$\lambda = f(\text{age})$	$\lambda = f(\text{year})$	$\lambda = f(\text{age, year})$	$\rho = 0$	$\rho = f(\text{cst})$	$\rho = f(\text{year})$
<b>Model 1</b>	X				X		
<b>Model 2</b>	X					X	
<b>Model 3</b>		X			X		
<b>Model 4</b>		X				X	
<b>Model 5</b>		X					X
<b>Model 6</b>			X		X		
<b>Model 7</b>			X			X	
<b>Model 8</b>			X				X
<b>Model 9</b>				X	X		
<b>Model 10</b>				X		X	
<b>Model 11</b>				X			X

**Table 2:** Description of the Finland data reform LFS survey – Eurostat:

	Number of individuals and MSD prevalence by categories							
	N <sub>total</sub>	P <sub>total</sub> [CI95%]	1999		2007		2013	
			N	P [CI95%]	N	P [CI95%]	N	P [CI95%]
<b>Total samples</b>	51,797	16.6 [16.3–17.0]	22,224	14.9 [14.5–15.0]	16,015	16.9 [16.3–18.0]	13,558	18.0 [17.4–19.0]
<b>Ages:</b>								
20-29 years	11,449	8.7 [8.2–9.3]	4883	6.8 [6.1–7.6]	3,593	9.4 [8.4–10.4]	2,973	9.8 [8.7–10.9]
30-39 years	12,554	14.1 [13.5–14.8]	5814	13.5 [12.6–14.4]	3,603	14.5 [13.4–15.7]	3,137	14.5 [13.3–15.8]
40-49 years	13,754	19.6 [18.9–20.3]	6123	17.2 [16.3–18.2]	4,139	19.8 [18.6–21.1]	3,492	22.0 [20.6–23.4]
50-60 years	14,040	22.6 [21.9–23.3]	5404	21.0 [19.9–22.1]	4,680	22.2 [21.0–23.5]	3,956	24.6 [23.3–26.0]
<b>Gender:</b>								
Men	26,028	13.8 [13.3–14.2]	11,270	12.3 [11.7–12.9]	7,943	13.9 [13.1–14.7]	6,815	15.1 [14.3–16.0]
Women	25,769	19.6 [19.0–20.0]	10,954	17.7 [17.0–18.4]	8,072	20.0 [19.1–20.9]	6,743	21.0 [20.0–22.0]
<b>ISCO-08 categories:</b>								
Blue collars	9,560	21.1 [20.1–22.0]	4,380	17.9 [16.6–19.3]	3,002	21.4 [19.6–23.3]	2,178	23.8 [22.0–25.7]
Intermediate white-collars	12,459	20.8 [20.0–21.5]	5,023	17.4 [16.3–18.4]	3,910	21.6 [20.3–22.9]	3,526	23.0 [21.6–24.5]
White-collars	18,252	14.4 [13.9–15.0]	7,764	12.8 [12.0–13.5]	5,651	14.6 [13.7–15.6]	4,837	16.0 [14.9–17.0]

Note: P represent the weighted prevalences in% and CI95% is the credible intervals at 95%.

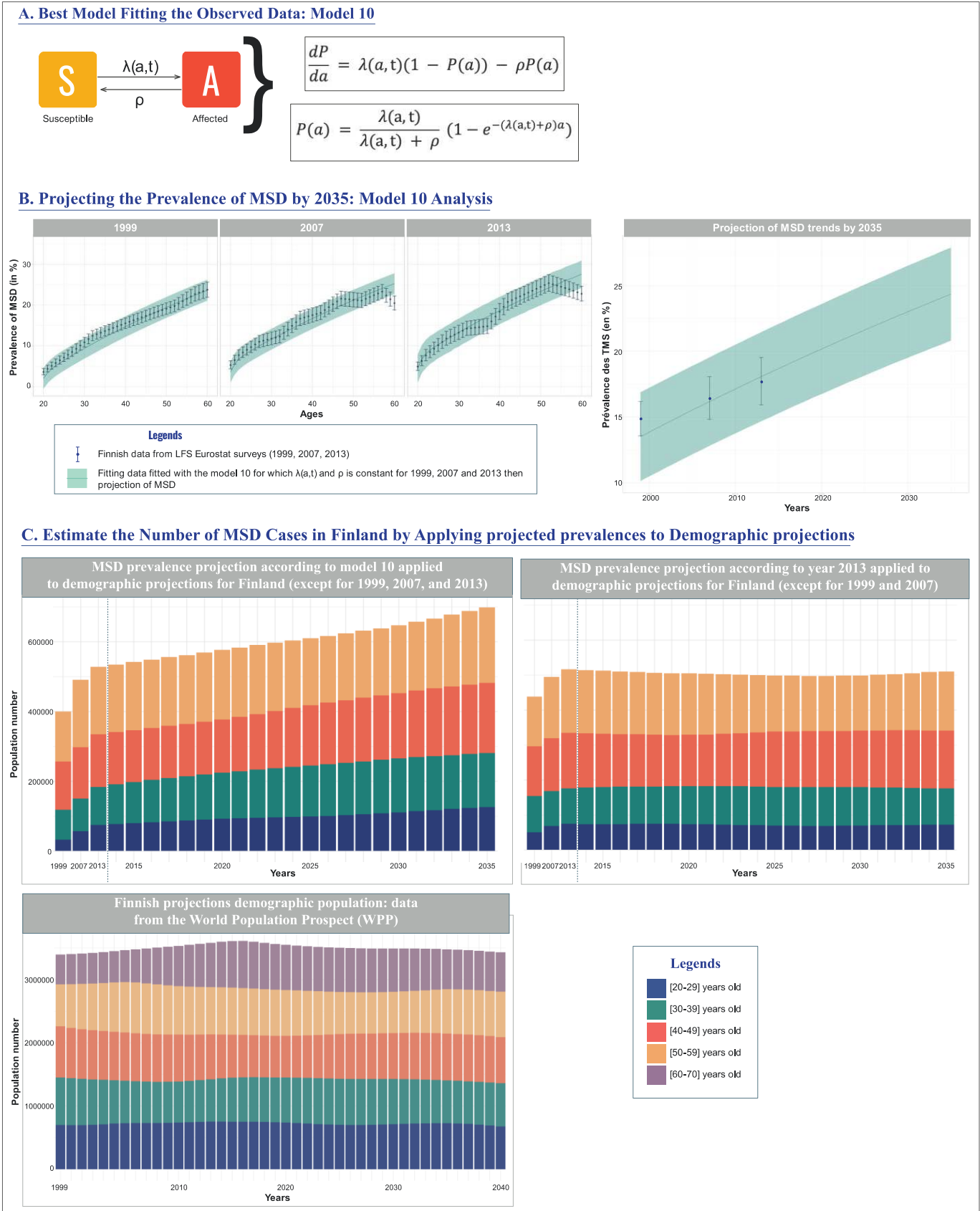
**Figure 1:** Comparison of the 11 models tested on Finnish LFS Eurostat data using the Deviance Information Criterion (DIC).

		Less good models								Better models		
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11
Genre	All data	-490.1	-633.2	264.3	-518.1	-313.4	-349.7	-385.2	-561.9	-374.9	-723.4	-634.1
	Women	-819	-928.5	524.6	-846.4	-579.2	-635.7	-690.8	-884.7	-673.7	-961.6	-928.6
	Men	-819.1	-928.7	524.6	-846.6	-579.1	-633.6	-690.6	-884.9	-673.7	-961.9	-928.2
ISCO-08	Blue-collars	-393.7	-538.1	247.7	-424.3	-237.7	-305.4	-370.1	-603.9	-317.6	-706.7	-635.5
	Intermediate white-collars	-383.2	-491.8	249.7	-408.4	-236.1	-307.3	-360.2	-510.3	-317.9	-592.6	-523
	White-collars	-402.7	-586.6	275.2	-414.9	-288.9	-353	-436.3	-597.6	-353.7	-574.3	-595.8

Note: The best models are those with a lower DIC value.



**Figure 2: Reconstructing Past Dynamics of Work-related MSD and Projecting Future Trends using model 10.**



## References:

- [1] 'OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures | Safety and health at work EU-OSHA'. <https://osha.europa.eu/en/publications/osh-figures-work-related-musculoskeletal-disorders-eu-facts-and-figures> (accessed Jan. 01, 2023).
- [2] L. March *et al.*, 'Burden of disability due to musculoskeletal (MSK) disorders', *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.*, vol. 28, no. 3, pp. 353–366, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.berh.2014.08.002.
- [3] WHO, 'Musculoskeletal health', 2021. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (accessed Jan. 10, 2023).
- [4] R. Bonfiglioli, Y. Caraballo-Arias, and A. Salmen-Navarro, 'Epidemiology of work-related musculoskeletal disorders', *Curr. Opin. Epidemiol. Public Health*, vol. 1, no. 1, p. 18, Nov. 2022, doi: 10.1097/PXH.000000000000003.
- [5] K. Storheim and J.-A. Zwart, 'Musculoskeletal disorders and the Global Burden of Disease study', *Ann. Rheum. Dis.*, vol. 73, no. 6, pp. 949–950, Jun. 2014, doi: 10.1136/annrheumdis-2014-205327.
- [6] Safety and health at work EU-OSHA, 'Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU', 2019. <https://osha.europa.eu/en/publications/msds-facts-and-figures-overview-prevalence-costs-and-demographics-msds-europe> (accessed Oct. 31, 2022).
- [7] French Public Health (SPF), 'Musculoskeletal disorders in the human health and social work sector: better understanding the risk factors to better prevent them - France', 2022. <https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2022/troubles-musculo-squelettiques-dans-le-secteur-de-la-sante-humaine-et-de-l-action-sociale-mieux-connaître-les-facteurs-de-risque-pour-mieux-les-p> (accessed Nov. 28, 2022).
- [8] C. Shiels, M. B. Gabbay, and F. M. Ford, 'Patient factors associated with duration of certified sickness absence and transition to long-term incapacity', *Br. J. Gen. Pract.*, vol. 54, no. 499, pp. 86–91, Feb. 2004.
- [9] S. Bevan, 'Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe', *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.*, vol. 29, no. 3, pp. 356–373, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.berh.2015.08.002.
- [10] P. M. Bongers, C. T. J. Hulshof, L. Dijkstra, H. C. Boshuizen, H. J. M. Groenhou, and E. Valken, 'Back pain and exposure to whole body vibration in helicopter pilots', *Ergonomics*, vol. 33, no. 8, pp. 1007–1026, Aug. 1990, doi: 10.1080/00140139008925309.
- [11] W. S. Marras, R. G. Cutlip, S. E. Burt, and T. R. Waters, 'National occupational research agenda (NORA) future directions in occupational musculoskeletal disorder health research', *Appl. Ergon.*, vol. 40, no. 1, pp. 15–22, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.apergo.2008.01.018.
- [12] C. HA *et al.*, 'Syndrome du canal carpien. Estimations de l'incidence, de la prévalence et du poids de l'activité professionnelle dans sa survenue dans les Pays de la Loire, France, 2002-2004. Numéro thématique - TMS d'origine professionnelle. Une préoccupation majeure', 2010. <https://www.santepubliquefrance.fr/pays-de-la-loire/syndrome-du-canal-carpien.-estimations-de-l-incidence-de-la-prevalence-et-du-poids-de-l-activite-professionnelle-dans-sa-survenue-dans-les-pays-de> (accessed Nov. 04, 2022).
- [13] H. Sultan-Taïeb and I. Niedhammer, 'Le poids imputable à l'exposition au stress au travail en termes économiques et de santé publique : enjeux et écueils méthodologiques', *Trav. Empl.*, vol. 129, no. 1, pp. 35–49, 2012, doi: 10.4000/travailemploi.5534.
- [14] A. K. Akodu and Z. O. Ashalejo, 'Work-related musculoskeletal disorders and work ability among hospital nurses', *J. Taibah Univ. Med. Sci.*, vol. 14, no. 3, pp. 252–261, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jtumed.2019.02.009.
- [15] A. Nambiema, 'Potential impact of prevention intervention of musculoskeletal disorders (MSD) at the population level: scenarios for reduced exposure to risk factors for MSD', phdthesis, Université d'Angers (UA), Angers, FRA., 2020. Accessed: Nov. 28, 2022. [Online]. Available: <https://hal.univ-angers.fr/tel-03127397>
- [16] J. Lee *et al.*, 'Population attributable fraction of indicators for musculoskeletal diseases: a cross-sectional study of fishers in Korea', *Ann. Occup. Environ. Med.*, vol. 34, p. e23, 2022, doi: 10.35371/aoem.2022.34.e23.
- [17] 'Effects of Aging on the Musculoskeletal System - Bone, Joint, and Muscle Disorders', *MSD Manual Consumer Version*. <https://www.msmanuals.com/home/bone,-joint,-and-muscle-disorders/biology-of-the-musculoskeletal-system/effects-of-aging-on-the-musculoskeletal-system> (accessed Nov. 28, 2022).
- [18] R. Gheno, J. M. Cepparo, C. E. Rosca, and A. Cotten, 'Musculoskeletal Disorders in the Elderly', *J. Clin. Imaging Sci.*, vol. 2, p. 39, Jul. 2012, doi: 10.4103/2156-7514.99151.
- [19] O. M. Harasty C., 'Population Ageing: Alternative measures of dependency and implications for the future of work', Working paper, Jun. 2020. Accessed: Nov. 28, 2022. [Online]. Available: [https://www.ilo.org/global/publications/working-papers/WCMS\\_747257/lang-en/index.htm](https://www.ilo.org/global/publications/working-papers/WCMS_747257/lang-en/index.htm)
- [20] 'Demography - Working age population - OECD Data', *the OECD*, 2021, Accessed: Nov. 28, 2022. [Online]. Available: <http://data.oecd.org/pop/working-age-population.htm>
- [21] P. Leino, 'Symptoms of stress predict musculoskeletal disorders.', *J. Epidemiol. Community Health*, vol. 43, no. 3, pp. 293–300, Sep. 1989, doi: 10.1136/jech.43.3.293.
- [22] M. Suka and K. Yoshida, 'The National Burden of Musculoskeletal Pain in Japan: Projections to the Year 2055', *Clin. J. Pain*, vol. 25, no. 4, pp. 313–319, May 2009, doi: 10.1097/AJP.0b013e31818c00c5.
- [23] I. N. Ackerman *et al.*, 'The projected burden of primary total knee and hip replacement for osteoarthritis in Australia to the year 2030', *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 20, Feb. 2019, doi: 10.1186/s12891-019-2411-9.
- [24] Eurofound, 'European Working Conditions Surveys (EWCS)', *Eurofound*, 2021. <https://www.eurofound.europa.eu/surveys/european-working-conditions-surveys-ewcs> (accessed Nov. 22, 2022).
- [25] S. Ahmadi-Abhari *et al.*, 'Temporal trend in dementia incidence since 2002 and projections for prevalence in England and Wales to 2040: modelling study', *BMJ*, vol. 358, p. j2856, Jul. 2017, doi: 10.1136/bmj.j2856.

- [26] H. Bouziri, A. Descatha, Y. Roquelaure, W. Dab, and K. Jean, 'Can we distinguish the roles of demographic and temporal changes in the incidence and prevalence of musculoskeletal disorders? A systematic review', *Scand. J. Work. Environ. Health*, vol. 48, no. 4, pp. 253–263, 2022, doi: 10.5271/sjweh.4018.
- [27] H. Bouziri, Y. Roquelaure, A. Descatha, W. Dab, and K. Jean, 'The spatio-temporal distribution of musculoskeletal disorders: results of the Global Burden of Disease in 204 countries and 21 subregions between 1990 and 2019'. medRxiv, p. 2022.09.16.22280040, Sep. 17, 2022. doi: 10.1101/2022.09.16.22280040.
- [28] N. Sepúlveda, G. Stresman, M. T. White, and C. J. Drakeley, 'Current Mathematical Models for Analyzing Anti-Malarial Antibody Data with an Eye to Malaria Elimination and Eradication', *J. Immunol. Res.*, vol. 2015, p. 738030, 2015, doi: 10.1155/2015/738030.
- [29] V. Yman *et al.*, 'Antibody acquisition models: A new tool for serological surveillance of malaria transmission intensity', *Sci. Rep.*, vol. 6, p. 19472, Feb. 2016, doi: 10.1038/srep19472.
- [30] 'EU labour force survey - modules'. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU\\_labour\\_force\\_survey\\_-\\_modules](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_labour_force_survey_-_modules) (accessed Nov. 28, 2022).
- [31] 'Database - Eurostat', 2019. <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (accessed Nov. 08, 2022).
- [32] International Labour Organization, 'The International Standard Classification of Occupations- ISCO-08', 2022, Accessed: Nov. 28, 2022. [Online]. Available: <https://isco-ilo.netlify.app/en/isco-08/>
- [33] A. G. McKendrick, 'Applications of Mathematics to Medical Problems', *Proc. Edinb. Math. Soc.*, vol. 44, pp. 98–130, Feb. 1925, doi: 10.1017/S0013091500034428.
- [34] W. O. Kermack, A. G. McKendrick, and G. T. Walker, 'A contribution to the mathematical theory of epidemics', *Proc. R. Soc. Lond. Ser. Contain. Pap. Math. Phys. Character*, vol. 115, no. 772, pp. 700–721, Aug. 1927, doi: 10.1098/rspa.1927.0118.
- [35] N. Hozé *et al.*, 'Reconstructing Mayaro virus circulation in French Guiana shows frequent spillovers', *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-16516-x.
- [36] M.-L. Varela *et al.*, 'Practical example of multiple antibody screening for evaluation of malaria control strategies', *Malar. J.*, vol. 19, no. 1, p. 117, Mar. 2020, doi: 10.1186/s12936-020-03186-9.
- [37] F. Wilson, J. Gormley, and J. Hussey, *Exercise Therapy in the Management of Musculoskeletal Disorders*. John Wiley & Sons, 2011.
- [38] D. J. Spiegelhalter, N. G. Best, B. P. Carlin, and A. van der Linde, 'The deviance information criterion: 12 years on', *J. R. Stat. Soc. Ser. B Stat. Methodol.*, vol. 76, no. 3, pp. 485–493, 2014, doi: 10.1111/rssb.12062.
- [39] A. Gelman, J. B. Carlin, and H. S. Stern, *Bayesian Data Analysis*. 2021. Accessed: Nov. 29, 2022. [Online]. Available: <http://www.stat.columbia.edu/~gelman/book/>
- [40] World Population Prospect, 'UN Population Division Data Portal', 2022. <https://population.un.org/dataportal/home> (accessed Jan. 20, 2023).
- [41] M. A. Minetto, A. Giannini, R. McConnell, C. Busso, G. Torre, and G. Massazza, 'Common Musculoskeletal Disorders in the Elderly: The Star Triad', *J. Clin. Med.*, vol. 9, no. 4, p. 1216, Apr. 2020, doi: 10.3390/jcm9041216.
- [42] K. Reinhold, V. Pille, V.-R. Tuulik, V. Tuulik, and P. Tint, 'Prevention of MSDs and psychological stress at computer-equipped workplaces', *Rev. Univ. Ind. Santander Salud*, vol. 46, no. 3, pp. 221–226, Dec. 2014.
- [43] D. Starovoytova, 'Hazards and Risks at Rotary Screen Printing (Part 1/6): Survey on Musculoskeletal Disorders', vol. 7, Sep. 2017.
- [44] D. Van Eerd, E. Irvin, M. Le Pouésard, A. Butt, and K. Nasir, 'Workplace Musculoskeletal Disorder Prevention Practices and Experiences', *Inq. J. Med. Care Organ. Provis. Financ.*, vol. 59, p. 00469580221092132, May 2022, doi: 10.1177/00469580221092132.
- [45] N. Thompson Hobbs and M. B. Hooten, *Bayesian models - A statistical primer for ecologists*, Princeton university press. 2015.

## **Supplementary materials**

### **S1: Detail of ISCO-08 categorizations**

The initial categories were based on the International Standard Classification of Occupations (ISCO-08) which is a classification system developed by the International Labour Organization (ILO) to categorize jobs and occupations [32]. The ISCO-08 classification is composed of 10 broad categories, each with several sub-categories.

The categories used in this analysis were:

1. Managers: includes top executives, general and operations managers, and other managers.
2. Professionals: includes natural and social scientists, engineers, doctors, teachers, accountants, and other professionals.
3. Technicians & associates: includes technical and associate professionals such as IT technicians, paralegals, and other technicians.
4. Clerical support workers: includes administrative and secretarial support workers, library and information clerks, and other clerical support workers.
5. Service and sale workers: includes personal service workers, sales and customer service workers, and other service and sales workers.
6. Skilled agricultural, forestry and fishery workers: includes farmers, foresters, and fishers.
7. Craft and related trades workers: includes construction and building trades workers, metal, electrical and electronic trades workers, and other craft and related trades workers.
8. Plant and machine operators, and assemblers: includes operators of mobile and stationary plant and machinery, and assemblers.
9. Elementary occupations: includes helpers, cleaners, and other elementary occupations.
10. Not applicable: includes individuals who were not working because they were on lay-off, other (15 years or more) who neither worked nor had a job or business during the reference week and not applicable (child less than 15 years old).
11. It is worth noting that category 999 "Not applicable" was used to identify individuals who did not fit into any of the other categories. In this study, we decided to exclude the armed forces from the analysis due to lack of prevalence data for certain age groups.

However, to simplify the analysis of ISCO-08 categories, a decision was made to group the categories into three broader classifications. These groups were:

1. "Blue collar" composed of skilled agricultural, forestry, and fishery workers, "craft and related trades workers", and "elementary occupations";
2. "Intermediate white collar" composed of "clerical support workers", "service and sale workers", and "plant and machine operators, and assemblers";
3. "White collar" composed of "Professionals", "Managers", and "Technicians & associates."

**S2: Detail Definition of the Musculoskeletal variable across the 3 rounds of LFS surveys**

<b>Ad-hoc LFS Eurostat module de 1999</b>	<b>Ad-hoc LFS Eurostat module 2007</b>	<b>Ad-hoc LFS Eurostat module 2013</b>
C217: Type of the most serious complaint caused or made worse by work 0 : Bone, joint or muscle problem 1 : Breathing or lung problem 2 : Skin problem 3 : Hearing problem 4 : Stress, depression or anxiety 5 : Headache and/or eyestrain 6 : Heart disease or attack, or other problems in the circulatory system 7 : Infectious disease (virus, bacteria or other type of infection) 8 : Other types of complaint 9 : Not applicable (Col.216 = 0, 9, blank) Blank : No answer	C215/216: Type of the most serious complaint caused or made worse by work 00 : Bone, joint or muscle problem which mainly affects neck, shoulders, arms or hands 01 : Bone, joint or muscle problem which mainly affects hips, legs, feet 02 : Bone, joint or muscle problem which mainly affects back 03 : Breathing or lung problem 04 : Skin problem 05 : Hearing problem 06 : Stress, depression or anxiety 07 : Headache and/or eyestrain 08 : Heart disease or attack, or other problems in the circulatory system 09 : Infectious disease (virus, bacteria or other type of infection) 10 : Other types of complaint 99 : Not applicable (not included in the filter) blank- No answer	Type of work related health problem <i>Type of the most serious health problem caused or made worse by work.</i> 00 : Bone, joint or muscle problem which mainly affects neck, shoulders, arms or hands 01 : Bone, joint or muscle problem which mainly affects hips, knees, legs or feet 02 : Bone, joint or muscle problem which mainly affects back 03 : Breathing or lung problem 04 : Skin problem 05 : Hearing problem 06 : Stress, depression or anxiety 07 : Headache and/or eyestrain 08 : Heart disease or attack, or other problems in the circulatory system 09 : Infectious disease (virus, bacteria or other type of infection) 10 : Stomach, liver, kidney or digestive problem 11 : Other types of health problem 99 : Not applicable (not included in the filter) Blank : Unknown

Despite the availability of more detailed data on the location of musculoskeletal disorders (MSDs) in the body in the questionnaires used in the two more recent rounds of surveys conducted in 2007 and 2013, the coding of the MSD variable in the 1999 survey was not as specific. In order to provide a more comprehensive analysis with a larger longitudinal depth, we decided to recode the MSD variable into two parts, taking into account data from all three surveys. Specifically, the MSD variable was recoded in a binary format: 1 indicating workers who had at least one work-related MSD and 2 indicating workers who had no work-related MSD.

### S3: Deviance Information Criterion (DIC) Formula for Model Selection

**Summary of the DIC that we used for the selection models from the book: Bayesian Models – A statistical Primer for ecologists from N.Thompson Hobbs and Mevin B. Hooten (p 216) [45]:**

The Deviance Information Criterion (DIC) proposed by Spiegelhalter et al. in 2002, offers a Bayesian alternative to likelihood-based model selection criteria like AIC and BIC. DIC consists of a loss function, the deviance ( $D = -2\log[y|\theta]$ ), and a penalty or regulator function. However, the penalty in DIC differs from AIC and BIC in that it doesn't require counting parameters. It's important to note that simple Bayesian models may have parameters constrained by informative priors and hierarchical Bayesian models have latent state variables that are technically unknown but highly constrained by both the likelihood and prior. A truly Bayesian criterion requires estimating an "effective" number of parameters ( $pD$ ) as all parameters are not equally constrained. Thus, a criterion that truly embodies Bayesian criterion must estimate the "effective" number of parameters ( $pD$ ) as all parameters are not equally constrained.

DIC is calculated as follows:

$$DIC = -2\log[y|E(\theta|y)] + 2pD = \hat{D} + 2pD$$

To determine the effective number of parameters, we calculate the deviance in two ways: by finding the posterior mean of the deviance  $\bar{D}$  and by computing the deviance at the posterior mean of the parameters  $\hat{D}$ . The difference between these two calculations is used as the effective number of parameters ( $pD$ ).

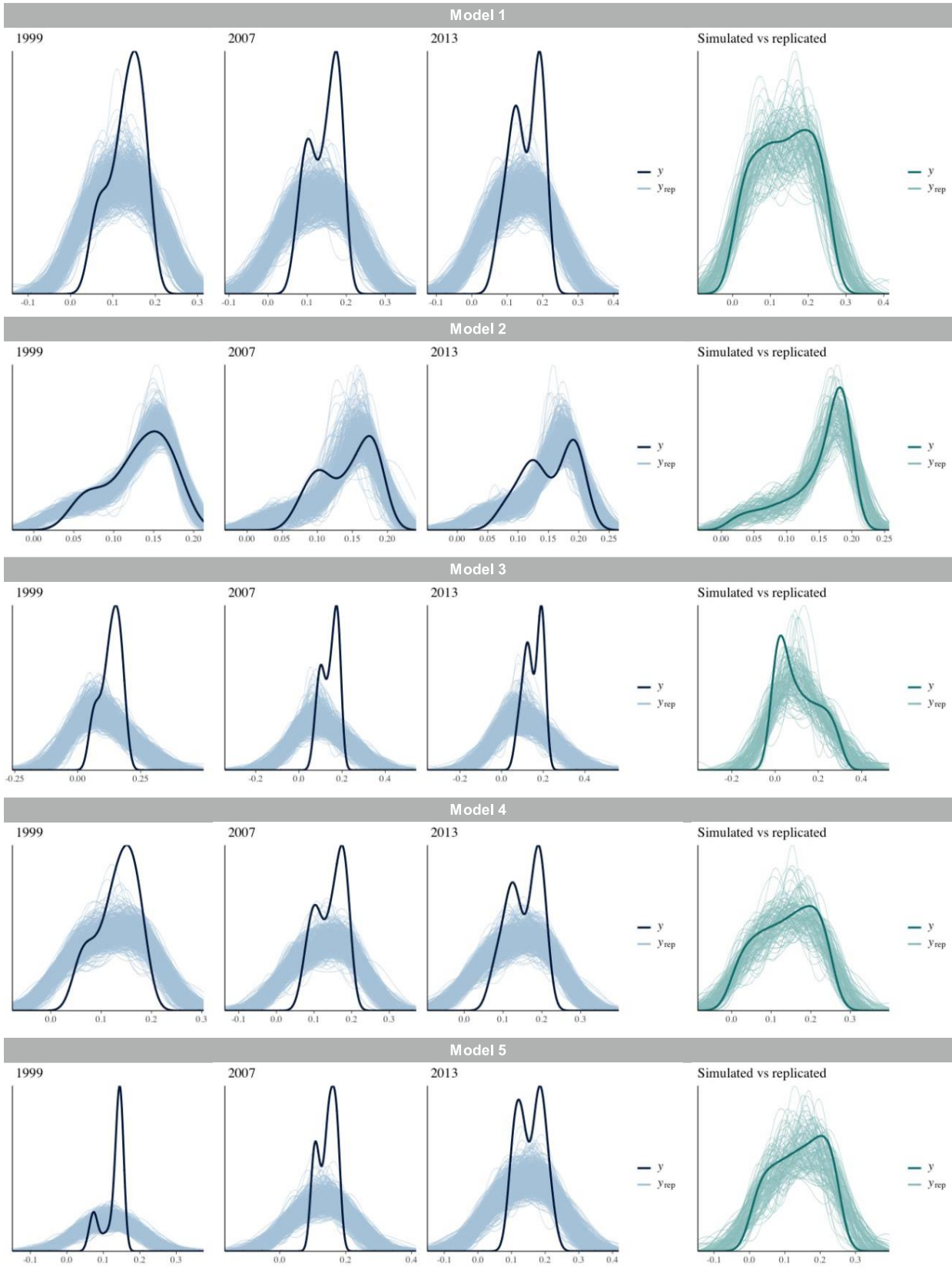
$$pD = \bar{D} - \hat{D}$$

The posterior mean deviance is:

$$\bar{D} = E_{\theta|y}(-2\log[y|\theta])$$

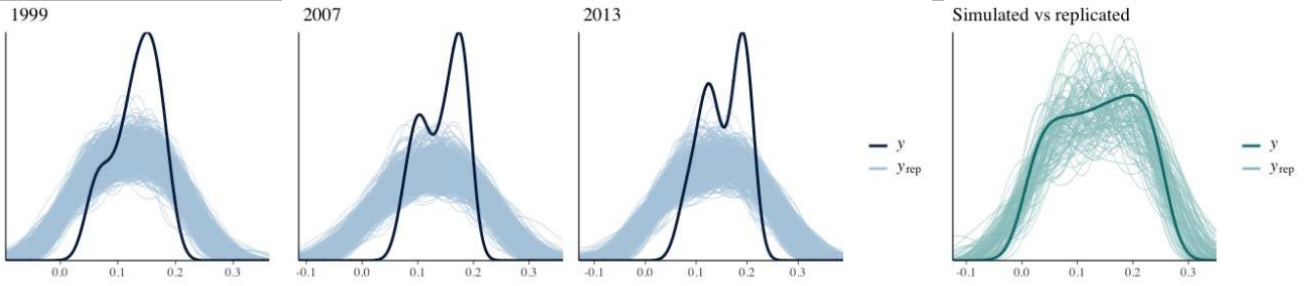
To calculate DIC, the deviance is determined at each iteration of the MCMC algorithm, and the average deviance is taken. The estimated deviance is calculated using the means of the posterior distributions of the parameters.

**S4:** Validation of Models Performance through Graphical Posterior Predictive Checks: A Comparison of Observed and Replicated Data Distributions in all Finnish data. Note that  $y$  represent the observed MSD prevalence data and  $y_{rep}$  is the posterior predictive distribution replicated according to the number of simulations implemented. This value represents the distribution of the outcome variable implied by a model after using the observed data  $y$ . The blue comparison shows the observed prevalence densities by age and by year in comparison to the replicated posterior prevalence densities. The green comparison shows the comparison of the simulated prevalence densities, calculated using the medians of previous posterior values, with the new replicated posterior prevalence densities.

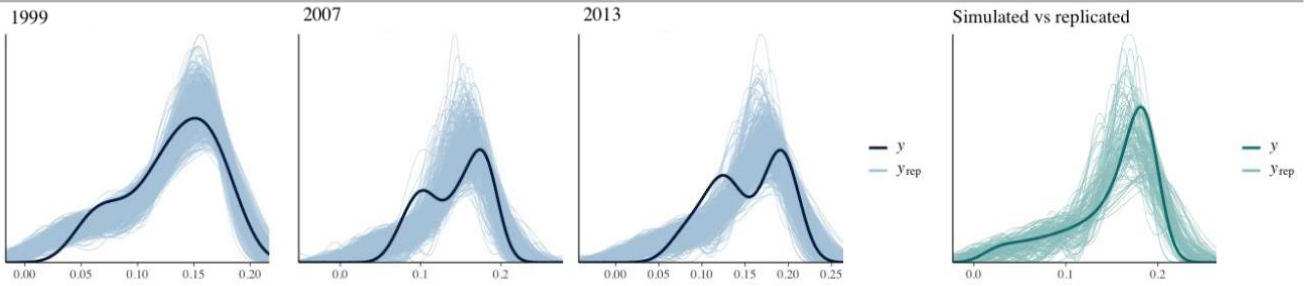




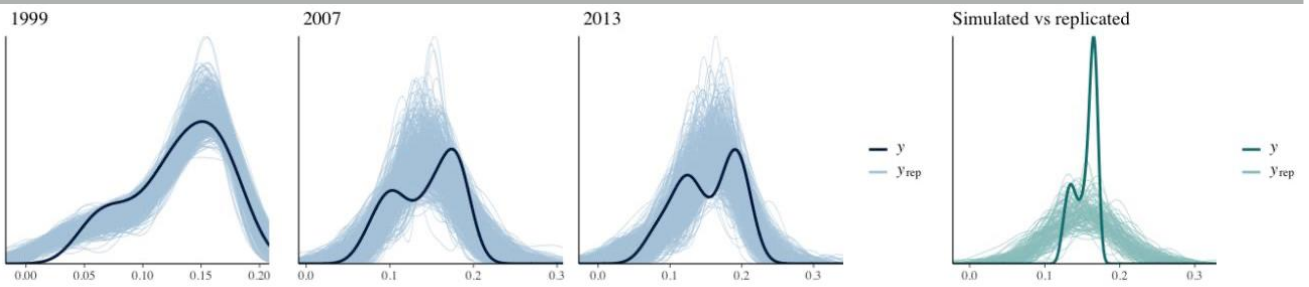
Model 6



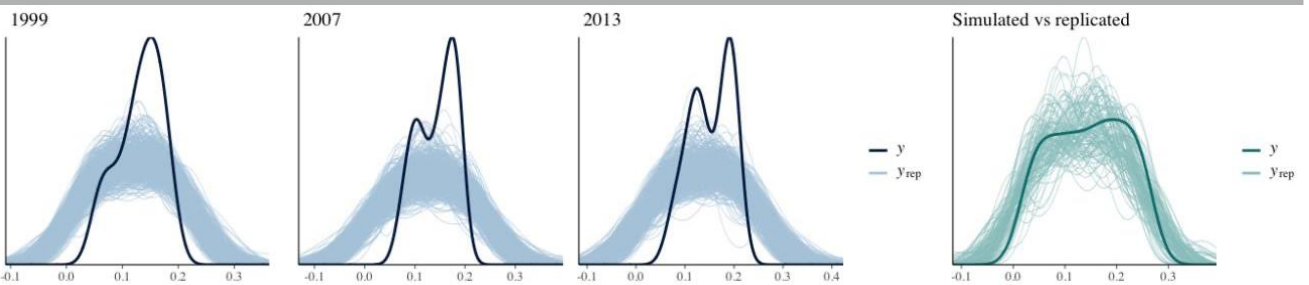
Model 7



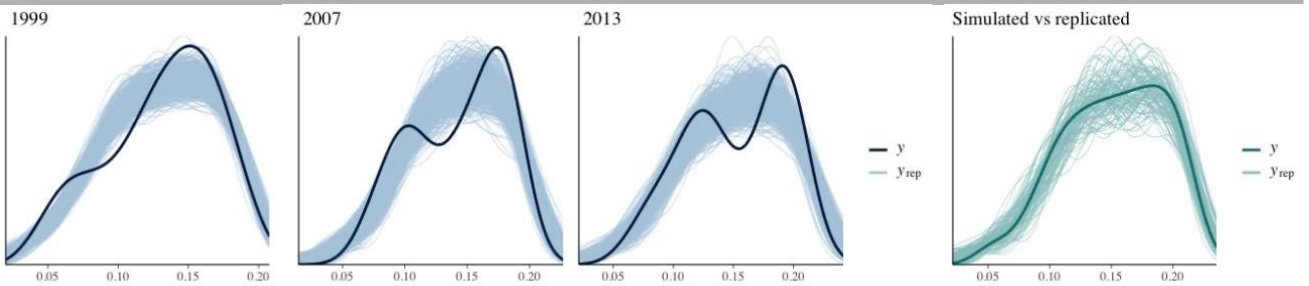
Model 8



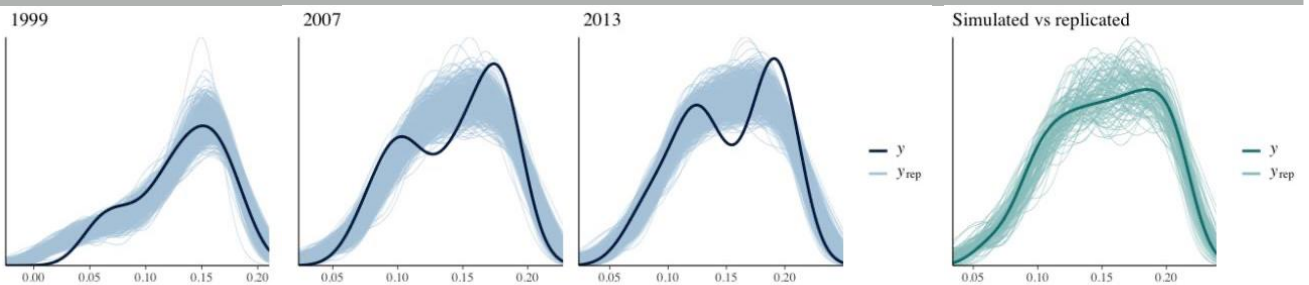
Model 9



Model 10

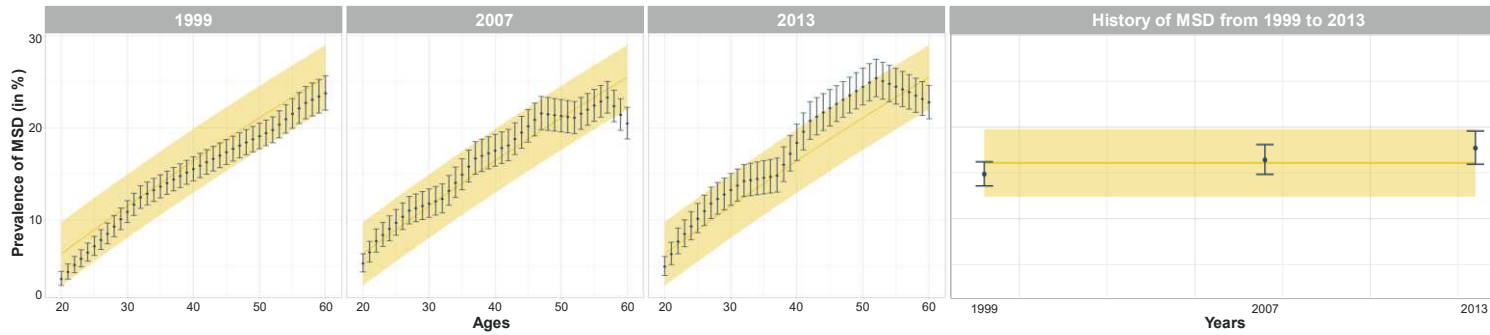


Model 11



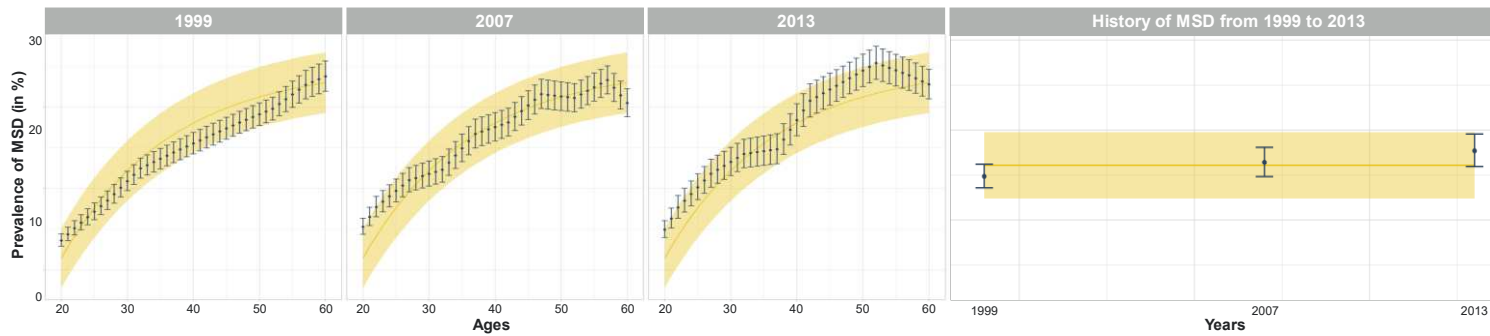
S5: Fitting the 11 Models to Labor Force Surveys in Finland: Insights from the three Rounds 1999, 2007, and 2013

Fitting Model 1 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013



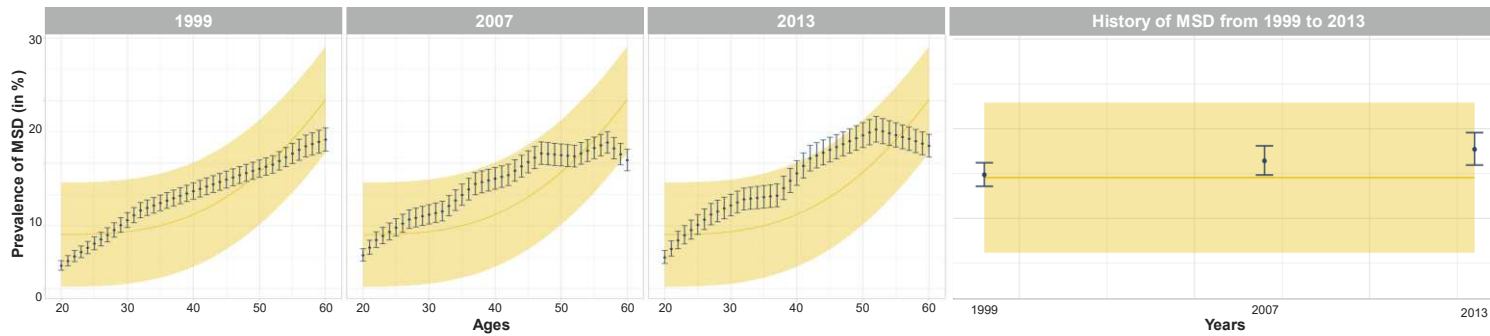
$$P(a) = 1 - e^{-\lambda \cdot a}$$

Fitting Model 2 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013



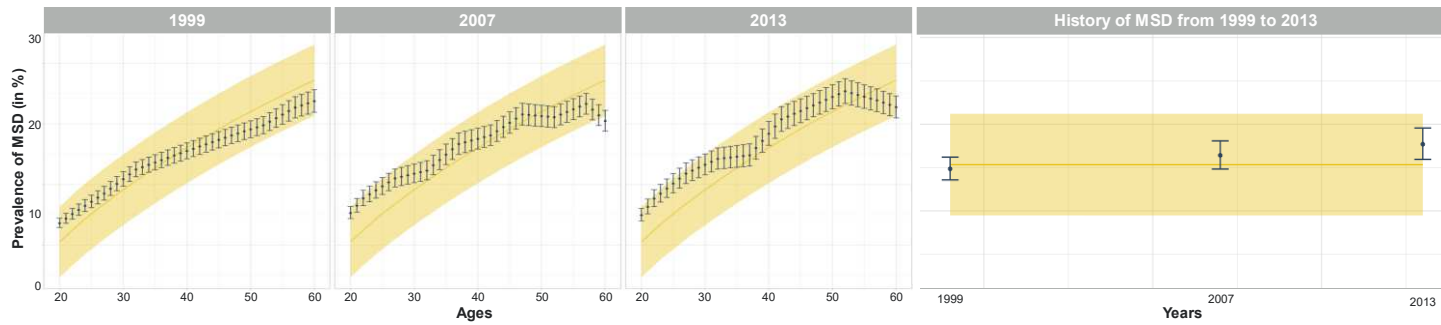
$$P(a) = \frac{\lambda}{\lambda + \rho} (1 - e^{-\lambda \cdot a})$$

Fitting Model 3 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013



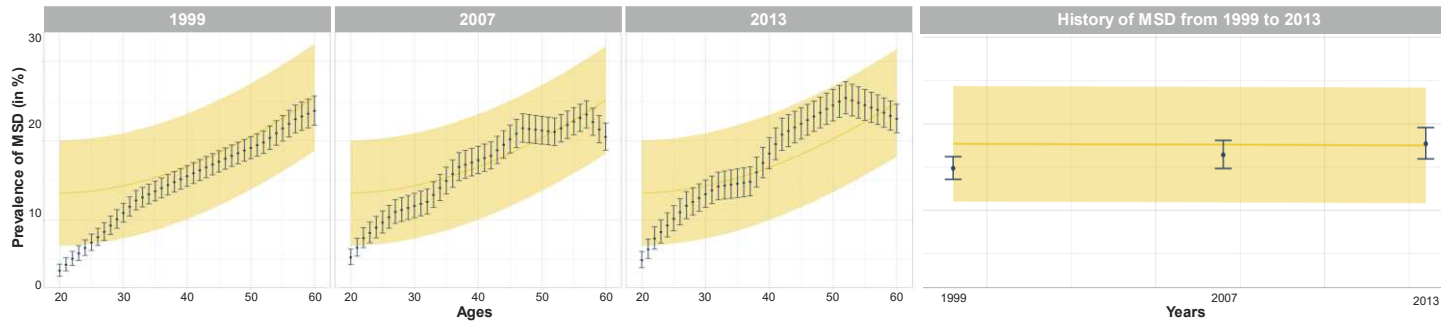
$$P(a) = 1 - e^{-\lambda(a) \cdot a}$$

### Fitting Model 4 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013



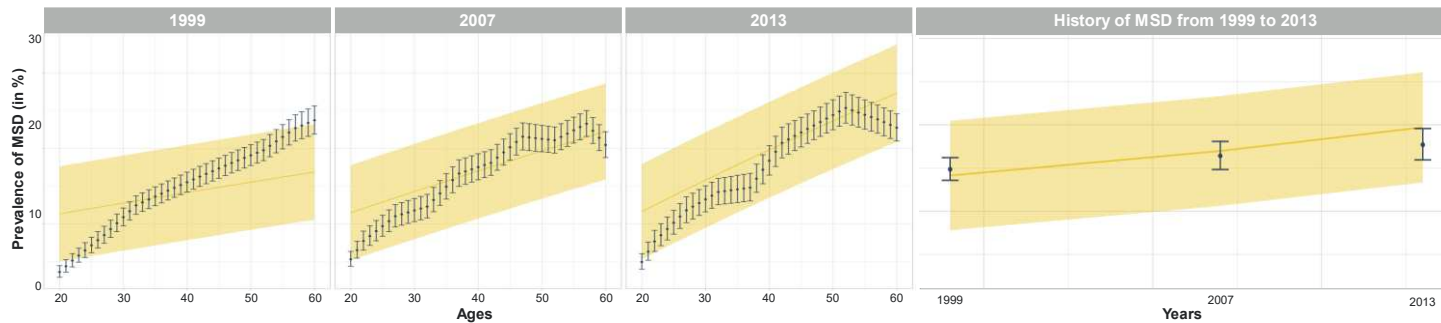
$$P(a) = \frac{\lambda(a)}{\lambda(a) + \rho} (1 - e^{-\lambda(a)*a})$$

### Fitting Model 5 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013



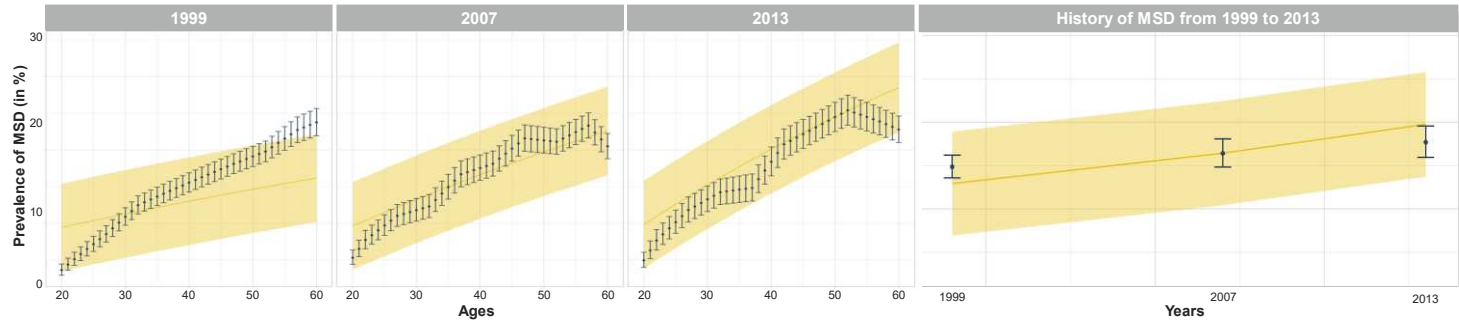
$$P(a) = \frac{\lambda(a)}{\lambda(a) + \rho(t)} (1 - e^{-\lambda(a)*a})$$

### Fitting Model 6 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013



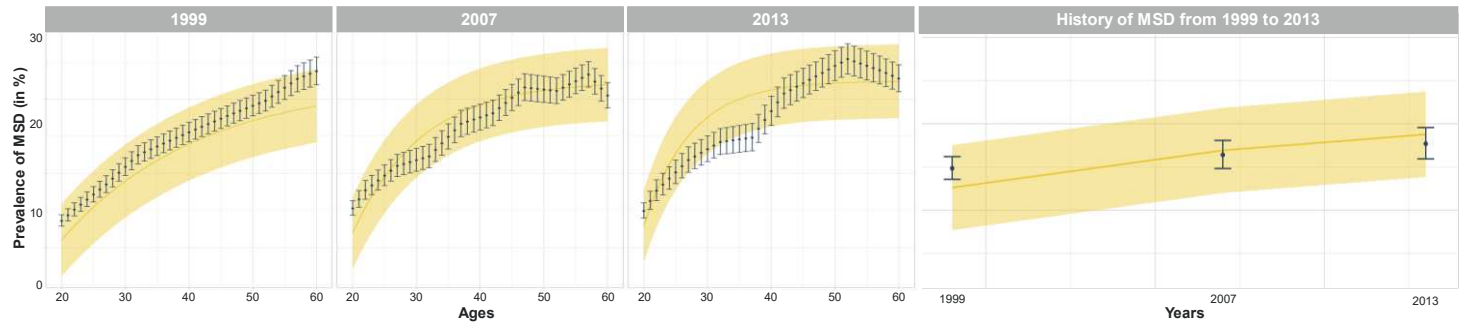
$$P(a) = 1 - e^{-\lambda(t)*a}$$

**Fitting Model 7 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013**



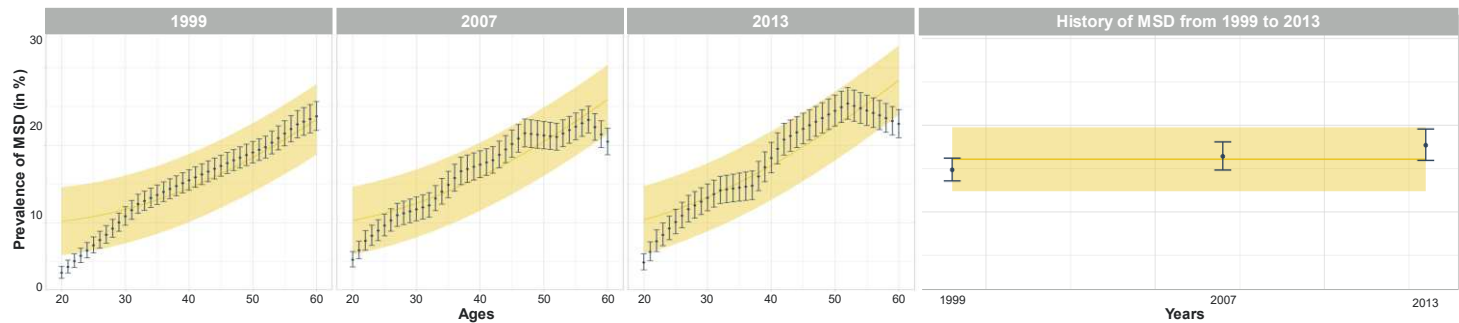
$$P(a) = \frac{\lambda(t)}{\lambda(t) + \rho} (1 - e^{-\lambda(t)*a})$$

**Fitting Model 8 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013**



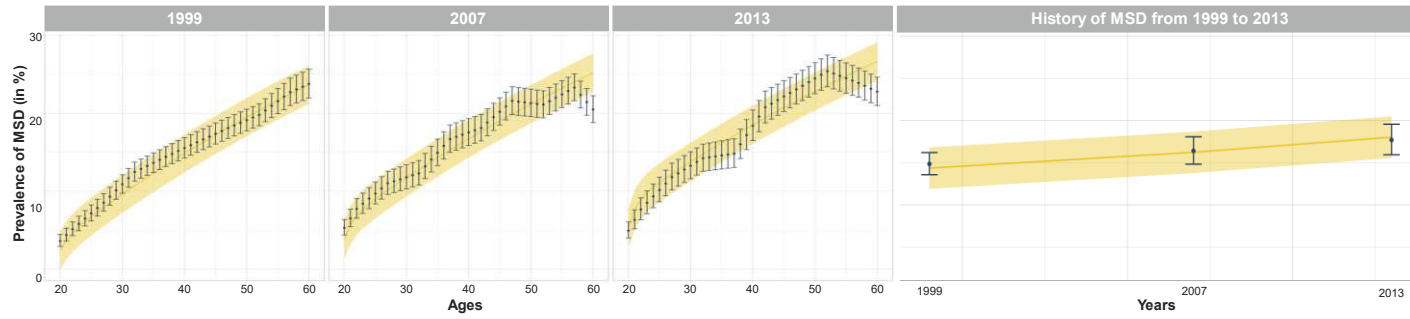
$$P(a) = \frac{\lambda(t)}{\lambda(t) + \rho(t)} (1 - e^{-\lambda(t)*a})$$

**Fitting Model 9 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013**



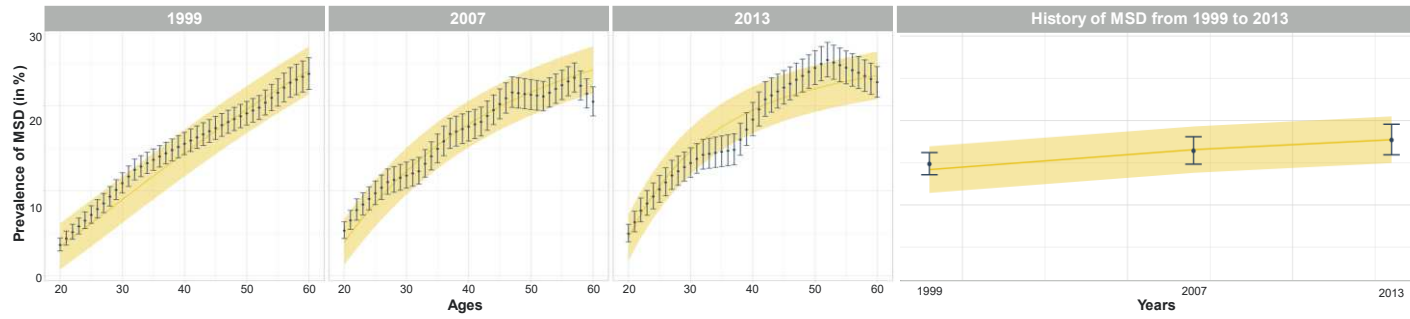
$$P(a) = 1 - e^{-\lambda(a,t)*a}$$

**Fitting Model 10 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013**



$$P(a) = \frac{\lambda(a, t)}{\lambda(a, t) + \rho} (1 - e^{-\lambda(a, t) * a})$$

**Fitting Model 11 to Labor Force Surveys in Finland: Insights from Rounds in 1999, 2007 and 2013**



$$P(a) = \frac{\lambda(a, t)}{\lambda(a, t) + \rho(t)} (1 - e^{-\lambda(a, t) * a})$$

## **Discussion générale**

## 19. Résumé de l'ensemble des résultats

L'étude sur les tendances spatio-temporelles des TMS entre 1990 et 2019 issues du GBD a permis de montrer une grande variation des prévalences des TMS entre les pays, avec une augmentation du fardeau de ces maladies pour la plupart d'entre elles. La prévalence des lombalgies est de loin la plus élevée, et cette tendance devrait se poursuivre en raison de l'accélération du vieillissement de la population mondiale. La plupart des tendances observées montre que l'augmentation des TMS semble être expliquée en grande partie par l'âge, en particulier pour les lombalgies et les cervicalgies. Cependant, les différences de structures démographiques ne semblent pas être le seul facteur à considérer pour la compréhension de la distribution des TMS, car les différences de prévalence observées par pays en 2019 ont mis en évidence que les prévalences sont beaucoup plus élevées dans les pays du Nord par rapport aux pays du Sud. Il a également été montré que les niveaux de revenus et les densités médicales par région étaient significativement corrélés à la prévalence observée. Ce travail a notamment permis de mettre en évidence l'importance de mettre en place une surveillance étendue des TMS et d'affiner les méthodes de collecte de données pour mieux comprendre ces pathologies et développer des politiques efficaces de préventions et de prise en charge.

La revue systématique de la littérature est, à notre connaissance, la première à avoir résumé les preuves existantes permettant de distinguer le rôle de l'âge et du temps séculaire dans la survenue des TMS. Les résultats montrent une grande disparité dans les études concernant l'évolution des tendances temporelle des TMS, qui rapportent globalement soit des changements non monotones, soit des augmentations de TMS au fil du temps. Des facteurs autres que le vieillissement ont également été suggérés pour expliquer ces évolutions, notamment : l'obésité, les expositions professionnelles et culturelles et la tolérance à la douleur. Cette revue met en évidence des incertitudes résiduelles dans la compréhension de l'évolution des TMS, notamment en raison d'un nombre limité d'articles sur ce sujet et d'un manque de données provenant des pays à niveaux de revenus faibles ou intermédiaires. Il a également été montré que les tendances temporelles des TMS varient principalement entre augmentations et évolutions non monotones selon leur localisation, leur sévérité et leur âge.



Notre troisième étude est à notre connaissance la première à explorer l'utilisation de modèles de maladies infectieuses pour produire des projections l'évolution des TMS liés au travail. Les résultats indiquent que la prise en compte de l'âge seul ne suffit pas pour produire des projections de TMS, et que le temps séculaire semble jouer également un rôle important à considérer. Pour valider ces résultats, des recherches futures devraient appliquer ces modèles à des données de prévalence de TMS sur une période plus longue et examiner l'évolution des expositions professionnelles ainsi que l'historique professionnel des individus. Si ces études appuient ces observations, des analyses plus détaillées pourraient être menées pour produire des projections plus précises des tendances des TMS liés au travail, en prenant en compte des facteurs tels que la fréquence d'exposition, l'âge, le sexe, la catégorie socioprofessionnelle, le secteur d'activité, la région et le pays. Cette recherche a des implications importantes en matière de prévention et la prédiction des TMS liés au travail mais aussi de réduction des coûts financiers à long terme que ces pathologies induisent, notamment les coûts de traitements médicaux, la diminution de la productivité et l'absentéisme au travail.

## 20. Les limites

Dans cette partie nous allons dans un premier temps, présenter les limites qui résultent de la spécificité des études autour des TMS. Puis nous présenterons les limites liées à l'application de projection de TMS sur la base de projections démographiques.

### 20.1. Limites des données

Outre les limites relatives à l'utilisation des données *LFS d'Eurostat* présentées au chapitre 3, plusieurs limites liées aux TMS sont à considérer. D'abord, une première difficulté dans l'analyse de ces pathologies est due à la variété de critères qui peuvent être utilisées pour identifier les TMS : par diagnostics médicaux qui se limitent généralement aux mouvements articulaires, et aux imageries médicales, par auto-déclarations des patients sur leurs douleurs, ou encore en étudiant les conséquences quantifiables telles que les absences au travail, les coûts générés aux systèmes de santé et les réhabilitations (Chen et al., 2022). De plus, l'histoire naturelle des TMS peut varier considérablement en fonction leur localisation dans le corps, leur temps de guérisons, leur récurrence ou encore leur gravité.

### 20.2. Limites dues aux projections démographiques

Les projections démographiques qui ont été utilisées pour appliquer des projections des prévalences des TMS sont des estimations de population générale basées sur des tendances historiques et des hypothèses sur les taux de natalité, de mortalité et de migration (World Population Prospect, 2022a). Ces données ont permis de produire des projections de TMS en prenant en compte l'évolution potentiel des structures démographiques de la population, mais il convient de les utiliser avec prudence pour plusieurs raisons. D'abord parce que ces données ont été sélectionnées dans cette étude pour des tranches d'âge en âge de travailler. Cependant, cela ne garantit pas que tous les individus de ces tranches d'âge soient effectivement actifs sur le marché du travail. Par ailleurs, l'évolution des profils de travailleurs peuvent varier dans les années à venir pour diverses raisons comme l'évolution des métiers, des conditions de travail, l'âge à la retraite pouvant varier. Il est donc important de prendre en compte ces paramètres dans nos interprétations de projections.

Il est vrai que l'étude du fardeau global des TMS comporte des limites, notamment en raison de la complexité des facteurs impliqués et de la difficulté à obtenir des données fiables et complètes. Cependant, ces limites ne remettent pas en cause la validité de la comparaison entre le modèle classique et le modèle 10 adapté des modèles sérocatalytiques. En effet, cette limite étant présente pour les deux méthodes, leur comparaison reste pertinente.

# Perspectives

Nos modèles de projections ont permis de démontrer que l'utilisation de modèles sérocatalytiques dans l'étude des maladies non-transmissibles tels que les TMS peut-être tout à fait être pertinente. Ces modèles ont permis de mieux comprendre l'influence de l'âge et du temps séculaire dans leur survenue et l'importance de prendre en compte ces deux facteurs dans la mise en place de projection de ces pathologies. A la suite de ces travaux, pour déterminer quelles sont les méthodes les plus appropriées pour chaque type de TMS, il pourrait être intéressant d'explorer d'autres modèles dynamiques, à travers une étude comparative de plusieurs modèles comme les modèles âge-période-cohorte, les modèles de fraction polynomiale généralisées ou encore les modèles de microsimulation. Ces modèles permettent par exemple d'intégrer des expositions professionnelles biomécaniques ou psychosociales, en plus de l'âge et du temps séculaire. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer de données plus précises et exhaustives sur les TMS (localisation, gravité, fréquence, intensité, caractère chronique), des données longitudinales par années avec au moins 5 années, l'historique des expositions professionnelles, les parcours de carrières professionnelles et les informations individuelles.

Dans cette partie nous présenterons les différentes suggestions de futures pistes de modèles qu'il est possible d'explorer dans le but de mettre en place des modèles de projection de l'évolution des TMS ainsi que les données dont nous aurions besoin pour les mettre en place.

## 21. Proposition d'autres modèles dynamiques pour produire des projections des TMS

### 21.1. Analyse âge-période-cohorte

L'analyse âge-période-cohortes (APC) est une technique statistique utilisée pour étudier l'impact de l'âge, du temps séculaire (période) et de l'année de naissance (cohorte) sur la survenue d'une pathologie ou d'un événement. Elles permettent de déterminer si la fréquence ou la prévalence d'une pathologie varie selon l'âge (Clayton & Schifflers, 1987b, 1987a), le temps séculaire (Holford, 1991) ou l'année de naissance, et de distinguer l'effet de ces différents facteurs sur la survenue de la pathologie. Les analyses APC sont particulièrement utiles pour étudier les tendances à long terme de la survenue d'une pathologie et pour identifier les facteurs qui peuvent en être à l'origine (Leon et al., 2017). Elles sont souvent utilisées en épidémiologie pour étudier l'impact de facteurs tels que l'environnement, les comportements de santé et les facteurs génétiques sur la survenue de pathologies (Yang & C. Land, 2013). Ce modèle APC pose des défis méthodologiques qui résultent d'un problème d'identification. En effet, le terme "cohorte" est une combinaison linéaire des termes "âge" et "période", ce qui rend difficile la dissociation des effets de ces trois facteurs. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de trouver une approximation pour le modèle, comme par exemple l'utilisation de méthodes de "generalized linear models" (CGLIM) (Yang & C. Land, 2013). Pour voir une proposition de démarche à suivre dans le cadre d'une étude sur les TMS pour différencier l'effet de l'âge et du temps voir le **tableau 9**.

### 21.2. Fractions polynomiales dans un modèle additif généralisé

L'utilisation de fractions polynomiales dans un modèle additif généralisé (GAM) (Hastie, 2017) permettrait aussi de distinguer l'effet de l'âge et du temps séculaire sur la survenue des TMS. Un modèle GAM est une extension du modèle de régression linéaire qui permet d'estimer la relation entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes de manière non linéaire. Les fractions polynomiales sont des fonctions mathématiques qui permettent de représenter de manière flexible la relation entre la variable dépendante et les variables

indépendantes, en modélisant la relation sous forme de polynômes de différents degrés (Leon et al., 2017). En utilisant des fractions polynomiales dans un GAM, il pourrait être possible de mieux comprendre comment l'âge et le temps séculaire influencent la survenue des TMS et de déterminer quel facteur a le plus grand impact. Cependant, il est important de prendre en compte le fait que l'âge et le temps séculaire sont liés entre eux, l'âge est d'ailleurs généralement mesuré en années, et exprimé en une unité de temps. Dans ce contexte il est nécessaire d'utiliser des fractions polynomiales avec des termes qui incluent l'âge et le temps séculaire séparément. Il est possible également d'inclure des termes qui combinent l'âge et le temps séculaire pour modéliser leur interaction. En ajustant les coefficients de ces termes, il est par la suite possible d'estimer l'effet de chaque variable indépendamment de l'autre. Ici, il est important de noter que ce type d'approche ne permettrait pas de distinguer l'effet de l'âge et du temps séculaire de manière absolue, mais plutôt de modéliser leur effet sur la variable cible dans le cadre du modèle utilisé (soit la prévalence des TMS) (Cui et al., 2009). Les interprétations doivent donc prendre en compte ces limites. Pour voir une proposition de démarche à suivre dans le cadre d'une étude sur les TMS pour différencier l'effet de l'âge et du temps voir le **tableau 9**.



**Tableau 9 :** Récapitulatif des analyses APC et des fractions polynomiales dans un modèle additif généralisé

	Age-Période-Cohorte	Fractions polynomiales
Proposition d'application	<p>Supposons que nous disposions de données sur la prévalence des TMS chez des individus de différents âges et sur une période donnée. Il est par la suite possible de calculer l'année de naissance au moment de l'enquête. Voici une proposition de modélisation :</p> $P(\text{TMS}+) = f(\alpha, \beta, \gamma) = b_0 + \alpha b_1 + \beta b_2 + \gamma b_3$ <p>où P(TMS+) représente la prévalence de la pathologie, <math>\alpha</math> est l'âge, <math>\beta</math> est le temps séculaire, <math>\gamma</math> est l'année de naissance, <math>b_0</math> est le terme constant, <math>b_1</math> est le coefficient associé à l'âge, <math>b_2</math> est le coefficient associé à la période et <math>b_3</math> est le coefficient associé à la cohorte.</p> <p>En utilisant cette équation, il est possible ensuite d'estimer les coefficients <math>b_1</math>, <math>b_2</math> et <math>b_3</math> pour ensuite déterminer l'impact de l'âge, du temps séculaire et de l'année de naissance sur la survenue de la pathologie. Il est également possible d'utiliser cette équation pour produire des projections sur l'évolution de la prévalence de la pathologie au fil du temps et pour identifier les facteurs qui peuvent être à l'origine de cette évolution.</p> <p>Il est important de noter que l'analyse APC nécessite des données longitudinales, c'est-à-dire des données qui suivent les individus sur une période satisfaisante. Il est souvent conseillé d'utiliser ces méthodes pour des données ayant une profondeur longitudinale d'au moins 4 années (Diouf et al., 2010; Guido et al., 2020).</p> <p>Une exemple appliqué de l'utilisation de ces modèles sur les nouveaux cas d'arthrose diagnostiquée et d'arthrose clinique ont été décrit en 2017 dans le <i>Rheumatology journal</i> (Yu et al., 2017, pp. 1992–2013)</p>	<p>Supposons que nous disposions de données sur la prévalence des TMS chez des individus de différents âges et sur une période donnée. On pourrait utiliser ces données pour construire un GAM qui modélise la relation entre la prévalence des TMS, l'âge et le temps séculaire. Voici une proposition de modélisation :</p> $P(\text{TMS}+) = f(\alpha, \beta) = b_0 + b_1 * \alpha + b_2 * \beta + b_3 * \alpha^2 + b_4 * \beta^2$ <p>où P(TMS+) représente la prévalence de la pathologie, <math>f(\alpha, \beta)</math> est la fonction de modélisation de la relation entre la prévalence des TMS et l'âge et le temps séculaire, <math>b_0</math> est le terme constant, <math>b_1</math> et <math>b_2</math> sont les coefficients associés à l'âge et au temps séculaire, et <math>b_3</math> et <math>b_4</math> sont les coefficients associés aux fractions polynomiales de deuxième degré de l'âge et du temps séculaire.</p> <p>En utilisant cette équation, nous pouvons estimer les coefficients <math>b_1</math> à <math>b_4</math> et ainsi déterminer l'impact de l'âge et du temps séculaire sur la survenue des TMS. Nous pouvons également utiliser cette équation pour produire des projections sur l'évolution de la prévalence des TMS au fil du temps et pour identifier les facteurs qui peuvent être à l'origine de cette évolution.</p> <p>Cependant, il est important de noter que le temps séculaire n'est pas toujours le meilleur indicateur de l'exposition au risque de développer des TMS. En effet, le temps passé à exercer certains types de travail ou à exposer à certaines conditions de travail peut être un facteur de risque plus important que le nombre d'années de travail. Il peut donc être préférable de se baser sur le temps d'exposition au risque plutôt que sur le temps séculaire dans l'analyse des données (Hastie, 2017).</p>

<p>Avantages de la méthode</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permettrait de mieux comprendre l'influence de l'âge, du temps séculaire et de la cohorte sur la survenue des TMS</li> <li>• Permettrait de prendre en compte les différences de risque entre les cohortes et de mieux évaluer l'impact des facteurs de risque à différentes périodes de la vie.</li> <li>• Doit-être utilisée sur la base de données longitudinales, pour pouvoir suivre l'évolution des risques au fil du temps et de mieux comprendre les dynamiques à l'œuvre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permettrait de mieux comprendre l'influence de l'âge et du temps séculaire sur la survenue des TMS.</li> <li>• Particulièrement utiles pour étudier les tendances à long terme et pour évaluer l'importance relative de l'âge et du temps séculaire dans l'explication de la variance de la variable d'intérêt.</li> <li>• Permettrait de modéliser des tendances complexes, en particulier lorsque l'effet de l'âge ou du temps séculaire n'est pas linéaire.</li> <li>• Doivent-être utilisées sur la base de données longitudinales, pour pouvoir suivre l'évolution des risques au fil du temps et de mieux comprendre les dynamiques à l'œuvre.</li> </ul>
<p>Limites de la méthode</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des données de qualité et de grande quantité, ce qui peut être un défi pour certaines études.</li> <li>• Peut-être complexe à mettre en œuvre et à interpréter, en particulier si les données sont peu homogènes ou si les effets de l'âge, du temps séculaire et de la cohorte sont difficiles à séparer.</li> <li>• N'est pas toujours adaptée à l'étude de phénomènes à court terme ou de phénomènes qui varient rapidement dans le temps.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut-être complexe à mettre en œuvre et à interpréter, en particulier si les données sont peu homogènes ou si l'effet de l'âge et du temps séculaire est difficile à modéliser.</li> <li>• Peut nécessiter l'ajustement de plusieurs paramètres et peuvent être sensibles aux choix effectués lors de la modélisation.</li> <li>• N'offrent pas toujours une bonne capacité de prédiction et peuvent ne pas être adaptées à l'étude de phénomènes à court terme ou de phénomènes qui varient rapidement dans le temps.</li> </ul>

### 21.3. Modèles de microsimulation

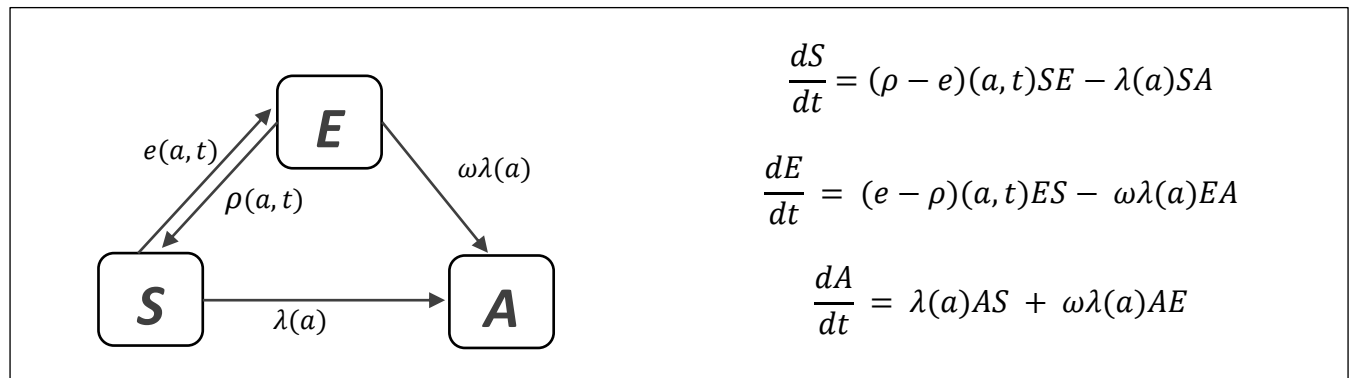
Initialement les modèles de microsimulation sont des modèles utilisés pour simuler les comportements individuels ou familiaux dans une population (*Microsimulation - an Overview* | *ScienceDirect Topics*, 2001.). Il permet de simuler les interactions entre les individus et leur environnement, comme les conséquences de différentes politiques ou de changements macroéconomiques sur ces individus (Merz, 1993). Les modèles de microsimulation sont initialement basés sur des données démographiques et socio-économiques, qui sont utilisées pour créer des "agents virtuels" qui représentent les individus de la population (Legendre, 2004; Ballas et al., 2019). Ces agents virtuels sont ensuite soumis à des scénarios simulant différentes politiques ou changements économiques, permettant ainsi de prévoir les conséquences de ces scénarios sur la population (Institut des politiques publiques, 2011). Ces modèles sont utilisés dans de nombreux domaines, tels que la politique sociale, la santé, les finances, l'éducation et l'emploi. Ils sont souvent utilisés pour évaluer les impacts financiers et les conséquences sur la vie des individus de différentes politiques, et pour simuler les conséquences de différents scénarios de croissance économique sur les ménages et les individus (Bourguignona, 2022).

Dans le domaine de la santé, les modèles de microsimulation ont l'avantage de pouvoir être utilisés pour étudier les phénomènes complexes liés à l'exposition à plusieurs facteurs de risques et à l'évolution de la maladie. Ces modèles peuvent en effet prendre en compte l'historique des expositions d'un individu, contrairement aux modèles compartimentaux qui se limitent généralement à des groupes d'individus homogènes. Cette approche pourrait permettre d'étudier les phénomènes de multi expositions, de cumul d'exposition dans le temps, et de latence (Rutter et al., 2011; McDonald et al., 2017). En utilisant des données détaillées sur les individus, les modèles de microsimulation peuvent donc aider à mieux comprendre les mécanismes liés aux TMS, à évaluer les interventions de prévention et à identifier les populations les plus à risque. Les résultats obtenus à l'aide de ces modèles peuvent également être utilisés pour orienter les politiques de santé et les décisions de prise en charge des individus. Ces modèles pourraient permettre également de simuler les conséquences à long terme de phénomènes de santé observés sur la population.

On pourrait donc envisager l'utilisation de modèles de microsimulation pour simuler l'évolution des TMS dans une population cible en utilisant des données épidémiologiques (Krijkamp et al., 2018) en considérant trois compartiments : S (susceptibles), E (exposés à des facteurs professionnels) et A (affectés par des TMS). Ces modèles pourraient permettre de prendre en compte différentes situations d'exposition, comme des expositions à un facteur unique, à des facteurs multiples, ou des co-expositions. Lorsque des données d'incidence sont disponibles pour ces différentes situations d'exposition, ces modèles peuvent simuler des variations dans la distribution des expositions, avec différentes hypothèses sur les cumuls, ou la latence de la pathologie par exemple et ainsi produire des projections d'incidence. Cependant, il convient de souligner que la mise en place de modèles de microsimulation implique de travailler sur des données d'incidence de qualité, ce qui demeure un défi de taille pour les TMS, étant donné leur rareté. Des données qui pourraient être envisageables et qui semblent correspondre à ce cahier des charges pourraient être celles issues du Programme de médicalisation des systèmes d'informations (PMSI) sur le SCC qui présentent des données de prévalences au cours du temps et par âge (Santé Publique France, PMSI, 2019). Une vérification rigoureuse des données accessibles pour ces pathologies doit d'abord être faite pour l'applicabilité du modèle de microsimulation qui nécessite des données individuelles. Il est également important d'avoir accès à des données d'exposition au cours du temps de qualité pour pouvoir utiliser ces modèles efficacement.

Un modèle de microsimulation adapté des modèles sérocatalytiques présenté précédemment (modèle SA) pourrait être envisagé en considérant trois compartiment : S pour susceptible, E pour exposé, A pour affecté) suivant le schéma de la **figure 13**. A noter qu'ici le compartiment E ne correspond pas une période d'incubation comme pour les modèles de maladies infectieuses mais plutôt à un facteur de risque pouvant influencer la survenue de la pathologie. La probabilité de devenir affecté est ici multipliée par un facteur  $\omega$  constant chez les exposés. La probabilité d'être exposé dépend d'une constante  $e$  qui dépend de l'âge et du temps séculaire et  $\rho$  modélise le fait d'être susceptible tout en étant exposé à un facteur de risque.

**Figure 13:** Modèle SEA adapté à une affection transitoire (SEA).



## 22. Les données nécessaires pour projeter

### L'évolution des TMS

Comme on a pu le voir dans les travaux présentés précédemment pour étudier l'évolution des TMS au cours du temps il est nécessaire de collecter des données sur ces pathologies dans un temps long que ce soit sur les expositions professionnelles ou encore sur la maladie. Nous allons présenter dans cette partie quelques suggestions de données qui pourraient être envisagées dans la continuité de ce travail de thèse.

#### 22.1. Exemples de données d'expositions professionnelles et individuelles envisageables

##### 22.1.1. Les données issues des enquêtes SUMER

Les enquêtes surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels (SUMER) est un système de surveillance des maladies professionnelles en France. Il a été créé et élaboré par la Direction de l'Animation, de la Recherche et des Études Statistiques (Dares) et l'Inspection Médicale du Travail (Direction Générale du Travail), en partenariat avec la Direction générale de l'administration et de la Fonction publique (DGAFP) pour permettre de suivre l'évolution des maladies professionnelles et d'identifier les facteurs de risque les plus importants (DARES, 2016). Ces enquêtes permettent de collecter et de centraliser les informations sur les maladies professionnelles déclarées auprès des médecins du travail et des caisses d'assurance maladies. Les données recueillies incluant des informations sur les individus (sexe, âge, profession, entreprise, etc.) et les expositions professionnelles (type d'exposition, durée d'exposition, etc.). Les enquêtes SUMER permettent de suivre l'évolution des expositions des maladies professionnelles dans différents secteurs d'activité, de mettre en évidence certains facteurs de risques, de faire un suivi des évolutions des expositions professionnelles, d'évaluer l'efficacité des mesures de prévention et de protection des travailleurs, afin d'aider à l'orientation des politiques de santé au travail (DARES, 2019). La principale limite de ces données réside dans le fait qu'elles sont collectées sur la base de

volontariat de médecins du travail, pouvant apporter des biais de sélections à de futures analyses de l'évolution de ces expositions professionnelles.

### 22.1.2. Enquêtes Santé et itinéraire professionnel (SiP)

Les enquêtes Santé et itinéraire professionnel (SiP) sont des études épidémiologiques menées en France qui visent à évaluer les relations entre les expositions professionnelles et la santé des travailleurs. Ces enquêtes ont été réalisées par la Drees et la Dares sur plusieurs vagues depuis 2006 (Drees, 2021). Ces enquêtes combinent des données sur les expositions professionnelles, l'emploi des travailleurs, les activités sociales, les revenus des ménages, et l'état de santé en général. Les données issues de ces enquêtes SiP sont souvent utilisées pour alimenter des systèmes de surveillance comme les enquêtes SUMER. Elles peuvent également être utilisées pour l'évaluation de l'impact des politiques de santé au travail et pour développer des programmes de prévention et de protection des travailleurs.

### 22.1.3. Enquêtes Conditions de travail

Comme mentionné dans la partie 4 de l'introduction de cette thèse les enquêtes Conditions de travail sont des études épidémiologiques qui visent à évaluer les relations entre les conditions de travail et la santé des travailleurs (DARES, 2018). Ces enquêtes permettent de collecter des données sur les caractéristiques des lieux de travail, les tâches effectuées, les horaires de travail, les relations de travail, les risques professionnels, les politiques de santé au travail, etc. Les données issues de ces enquêtes peuvent inclure des entretiens avec des travailleurs, des observations des lieux de travail, et des mesures physiques des conditions de travail. Les données obtenues peuvent être utilisées pour identifier les facteurs de risque professionnels et pour développer des stratégies de prévention et de protection des travailleurs.

## 22.2. Exemples de données sur les TMS

Selon le type de TMS étudié et la population cible plusieurs sources de données peuvent être envisagées pour produire des projections de l'évolution de ces pathologies comme les informations sur les symptômes, les diagnostics, les traitements et les absences au travail liés.

Toutefois, l'obtention de ces données peut s'avérer difficile, car il existe peu de bases de données de recherche en matière de santé au travail qui se concentrent spécifiquement sur les TMS.

On pourrait par exemple envisager les données administratives mais elles peuvent souffrir d'une sous-notification importante (Masson, 2003). Les données de maladies professionnelles et d'accidents du travail/maladies professionnelles (AT/MP) pourraient aussi être envisagées mais pour ces données, plusieurs études mentionnent un problème récurrent de sous-notification, rendant difficile la possibilité d'avoir une vue complète sur l'évolution de ces pathologies. Une des explications à ces limites, peut s'expliquer par le fait qu'il arrive que la déclaration des AT/MP soit dépendante de la motivation des employeurs et des travailleurs à y participer. Les incitations financières pour ne pas déclarer ces événements peuvent également entraîner une sous-estimation des données sur les TMS (Lengagne, 2017).

Il semblerait donc qu'actuellement, les meilleures données pour étudier les TMS au cours du temps pourraient provenir de grandes cohortes qui ont un suivi longitudinal régulier et long et dont les données médicales croisées avec des données administratives pourraient enrichir les analyses pour rendre les projections le plus précise possible. Dans le monde il existe plusieurs cohorte d'envergures qui ont été mises en place qui lesquelles une investigation pourrait être pertinentes : la cohorte "Whitehall II" qui a été établie pour étudier les facteurs de risque pour la santé chez les travailleurs administratifs de la fonction publique britannique (Head et al., 2008), la cohorte "Nord-Trøndelag Health Study" (HUNT) qui a été établie en Norvège pour étudier les relations entre les expositions professionnelles et la santé des travailleurs (Sivertsen et al., 2013), ou encore la cohorte "Nurses' Health Study" qui a été établie pour étudier les facteurs de risque pour la santé chez les infirmières aux Etats-Unis (Lipscomb et al., 2004).

En France, la cohorte qui semble être la plus prometteuse et qui permettrait de travailler sur ce type de données, est la cohorte Constances qui depuis le début de sa mise en place, a retracé l'historique des expositions professionnelles et de l'état de santé d'environ 200 000 individus.



## 23. La cohorte Constances, « un laboratoire épidémiologique ouvert »

L'analyse de la relation entre les TMS et le temps de travail est un domaine de recherche complexe qui nécessite une prise en compte exhaustive des facteurs de risque et des contextes d'exposition. Pour cela, les données issues de la cohorte Constances peuvent être envisagées (Zins et al., 2010; Henny et al., 2020). Cette cohorte généraliste ou « laboratoire épidémiologique ouvert » (Goldberg, 2013) est une plateforme de recherche visant à contribuer au développement de la recherche épidémiologique en fournissant des informations exhaustives sur le profil des individus, leurs expositions et la survenue de pathologies au cours du temps. Elle a été lancée en 2010 et a rassemblé des données sur des travailleurs français de différents métiers et secteurs d'activités. Elle permet de prendre en compte les caractéristiques individuelles des travailleurs, leur temps de travail total et les conditions de travail, ainsi que leur historique professionnel. Avec ce type de données on pourrait par exemple envisager l'analyse de la relation entre le temps de travail, les modalités de travail (télétravail, hybride, présentiel), des individus et la survenue des TMS de manière prospective, c'est-à-dire en suivant les individus au fil du temps<sup>9</sup>. On pourrait ainsi avoir des estimations des taux de guérison en fonction de l'âge, du sexe et de la localisation.

Elles pourraient fournir des informations sur l'incidence des TMS en fonction du statut d'exposition-co-exposition. On pourrait par ailleurs envisager la mise en place d'une étude spécifique ou une sous-étude de la cohorte pour récupérer les données d'incidences des TMS, et ensuite les jumeler aux matrices emploi-expositions des individus recrutés qui sont déjà disponibles dans la base de données (Evanoff et al., 2019). Données qui sont nécessaires pour la mise en place de modèles de microsimulations présentés précédemment.

---

<sup>9</sup> Comme l'utilisation d'outils ou de machines

## 24. TMS et télétravail avant, pendant et après la pandémie de COVID-19

Durant la pandémie de COVID-19, les données *Eurostat* ont pris du temps à être transmises pour cause de remobilisation des équipes sur les thématiques liées au virus. Dans l'attente de ces données, nous en avons profité pour effectuer une analyse approfondie de la littérature existante et une analyse sur les données du GBD pour examiner l'état actuel de connaissance sur les tendances temporelles des TMS et l'implication de l'âge et du temps séculaire dans leur survenue.

Au cours du premier confinement, il a été rapporté que de nombreuses personnes ont été confrontées à des espaces de travail limités. Dans ce contexte, pour les télétravailleurs, la nécessité d'adapter l'environnement personnel en un lieu ergonomique favorable au travail était indispensable. Une étude danoise a d'ailleurs récemment montré que lorsque ces conditions n'étaient pas présentes, le risque de TMS était plus grand (Bosma et al., 2022). Par ailleurs, le fait d'être confronté à un télétravail imposé dans un contexte anxiogène de pandémie mondiale a pu vraisemblablement favoriser le sentiment d'isolement pouvant constituer un obstacle considérable pour le bien-être et influencer sur la productivité. Cependant, il est possible que le travail à distance puisse également présenter des avantages non négligeables en matière d'équilibre entre vie personnelle et professionnelle, ce qui peut améliorer le bien-être, favoriser une plus grande satisfaction au travail et par conséquent, une meilleure efficacité.

Cette expérience a confirmé la pertinence de cette thèse et a suscité une réflexion sur l'importance de bonnes conditions de travail dans un contexte de télétravail imposé dans le cadre d'une pandémie mondiale. Par conséquent, une lettre de communication a été rédigée pour sensibiliser les managers d'entreprise aux risques et aux avantages liés à la mise en place rapide et forcée du télétravail dans ce contexte.

Dans cette partie, des données non exhaustives sur le télétravail avant la pandémie et ses potentiels impacts sur la santé seront présentés, ainsi que les travaux publiés dans le journal

*Occupational Environmental Medicine (OEM-BMJ)* à la suite du premier confinement (Bouziri et al., 2020) et des propositions de perspectives d'études à venir, associant télétravail et TMS.

### 24.1. Le télétravail avant la pandémie de COVID-19

Depuis 2000, l'émergence de l'Internet numérique et à haut débit a facilité le développement du télétravail. On en distingue d'ailleurs plusieurs : le télétravail mobile partiel permettant une autonomie et une possibilité de distance géographique du siège de l'entreprise, le télétravail électronique individuel à domicile, le télétravail électronique « *off-shore* » qui consiste à regrouper plusieurs salariés travaillant à l'étranger pour effectuer des opérations répétitives (ex : des opérateurs téléphoniques dans certaines entreprises qui ne travaillent pas dans les pays originaire de l'entreprise pour des raisons de mains d'œuvre moins coûteuses), et autres formes de télétravail de nature plus technique (ex : télésurveillance, télémaintenance, téléservice informatique) (Bellon et al., 2006; Boboc, 2017; Jemine, 2019).

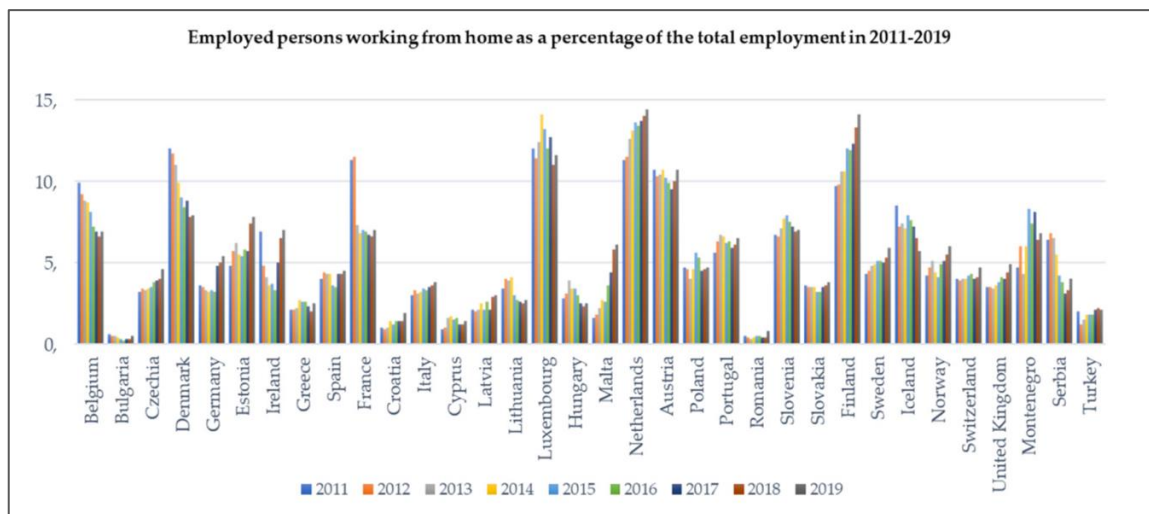
Ce nouveau mode de travail qu'il soit mis en place partiellement ou à plein temps, change l'organisation des entreprises :

- Elles doivent s'assurer de fournir un équipement adapté aux besoins des salariés (micro-ordinateur, téléphone, matériel de bureautique adapté, accessibilité à internet).
- Dans le cas de l'e-commerce il arrive que les entreprises n'aient pas de locaux physiques pour réduire les coûts.
- On constate une plus grande autonomie des salariés qui peuvent gérer leur rythme de travail.
- Un suivi de l'état d'avancement du travail plus régulier est souvent mis en place.
- Pour lutter contre l'isolement des salariés, certaines entreprises prévoient une obligation de présence au sein des locaux du siège (ex : réunions, formations, etc.).

Une étude a regroupé les statistiques du télétravail par pays entre 2011 et 2019 permettant de mettre en évidence que les tendances variaient d'un pays à l'autre (**figure 14**) (Türkeş & Vuță, 2022, p. 19). En France le pourcentage de télétravail a diminué de presque la moitié passant d'environ 12% en 2011-2012 à environ 7% en 2019. Des évolutions similaires sont observées pour le Danemark et en Belgique, où la part de personnes en télétravail à domicile ont diminué

sur la période observée. Au pôle opposé, au Pays-Bas, à Malte et en Finlande, le pourcentage de télétravailleurs a augmenté. En 2019, les proportions les plus élevées de femmes télétravaillant ont été enregistrées en Finlande (13,3%), aux Pays-Bas (12,5%) et au Luxembourg (12,4%). Une situation particulière est observée aux Pays-Bas (15,4 %) et en Finlande (14,7 %), où la part des hommes qui travaillaient à domicile pendant la pandémie était supérieure à celle des femmes (*Database - Eurostat, 2019; Türkeş & Vuță, 2022*).

**Figure 14** : Pourcentage de personnes télétravaillant à domicile de l’emploi total entre 2011 et 2019.



## 24.2. Conséquences du télétravail pendant et après la pandémie

### 24.2.1. Télétravail pendant la pandémie et potentiels impacts pour la santé

Avec la pandémie de COVID-19, le télétravail a représenté, d'une part, une forme d'adaptation de la main-d'œuvre aux nouvelles conditions de distanciation sociale et, d'autre part, un mode d'organisation de l'activité des entreprises et de l'emploi. Le télétravail s'est rapidement étendu et de nombreux salariés ont été contraints de travailler à domicile, ce qui, pour une partie importante d'entre eux, était une nouveauté. De plus, la mise en place du télétravail était l'une des mesures fortement recommandées ou imposées par les institutions gouvernementales, qui devaient être acceptées par les employés et les employeurs par le biais d'accords comme une mesure de maintien d'une partie importante du capital humain et une opportunité de mettre en œuvre de nouvelles communications informationnelles par le biais des technologies.

Dans le cadre de cette thèse nous avons publié une lettre de communication pour alerter sur les risques que pourraient induire la mise en place d'un télétravail à domicile dans un contexte

d'adoption soudaine et à grande échelle. Le but de ce travail était d'alerter sur les risques et avantages du télétravail pour la santé dans un contexte de pandémie mondial pour préserver au mieux la santé des travailleurs. La traduction en français des résultats de ce travail est présentée dans le **tableau 10**.

**Tableau 10** : Impacts du télétravail sur la santé, spécificité du confinement lié à la pandémie de COVID-19 et mesures de prévention clés pour l'employeur.

		Effet du télétravail	Amplification ou réduction dans le contexte d'un confinement lié au COVID-19	Mesures de prévention clés pour les employeurs
<b>Famille de risques</b>	Risques liés au transport	Diminué	Aucune	-
	Risques associés à l'environnement de travail à domicile	Risques accrus associés au logement (incendie, accidents domestiques, ambiance et température)	Amplifiés (manque d'anticipation)	Diffusion de messages de sécurité simples et pragmatiques
		Risques accrus associés au poste de travail (douleurs musculosquelettiques)	Ambigus (potentiellement amplifiés en raison d'un manque d'anticipation, d'un environnement de travail à domicile mal adapté et d'une activité physique réduite, mais une courte durée d'exposition)	Diffusion de messages simples et pragmatiques sur l'ergonomie ; contribution financière à l'équipement adapté (chaise réglable et poste informatique, internet...) ; promotion de l'activité physique
	Risques psychosociaux	Risques accrus d'isolement social dans la sphère professionnelle	Réduits (universalisation du télétravail)	Adoption de périodes de travail collectives virtuelles (téléconférences)
		Risques accrus de brouillage des frontières entre le travail et le temps passé à la maison	Potentiellement amplifiés par la multiplication des tâches non liées au travail telles que la garde d'enfants ou l'école à domicile	Préserver le droit à la déconnexion Adapter le temps et l'horaire de travail des travailleurs assurant la garde d'enfants à domicile
	Risques comportementaux (alimentation, sommeil, dépendance)	Ambigus	Amplifiés (confinement, anxiété liée au contexte pandémique)	Autoriser et promouvoir les téléconsultations avec les praticiens du travail



## LETTER

## Working from home in the time of COVID-19: how to best preserve occupational health?

In response to the COVID-19 pandemic, many countries have adopted a broad spectrum of containment measures, from recommendations to stay at home to quarantines of large geographic regions. As part of this response, corporations and governments alike have strongly encouraged workers to telecommute where possible. More than 3.4 billion people in 84 countries have been confined to their homes, as estimated in late March 2020, which potentially translates to many millions of workers temporarily exposed to telecommuting. Since 2000, the emergence of digital and broadband internet has facilitated the development of home telework. Despite limited research interest on its impact on occupational health, several health benefits and risks of telework have been identified in academic or grey literature (table 1) (for a review see Ref. 1).

Assessing how health risks and benefits of telework are affected by its sudden, large-scale uptake in the context of COVID-19 is key to best preserve occupational health. The current pandemic context carries several specificities. First, the sudden shift to teleworking could not have been anticipated by workers or employers, so the safety of the home working environment has not necessarily been ensured. However, for many the uptake of telework will be temporary, so a limited duration of exposure may

mitigate risks of injury or pain associated with the home environment, or risks of musculoskeletal disorders associated with unergonomic workstations.<sup>2</sup> Second, in many organisations telework has temporarily switched from the exception to the rule. This may reduce isolation risks associated with social distancing in the workplace setting that teleworkers face in normal times. Conversely, widespread school closures have forced many parents to telework and mind their children at the same time, including having to plan for schooling at home or online. These overlapping responsibilities amplify psychosocial risks associated with unstructured working time.<sup>3</sup> Third, the current uptake of telework has occurred in an anxiety-provoking context linked to the pandemic. This is likely to worsen telework-associated psychosocial and behavioural risks, especially those associated with addictions. Among workers with psychological frailties, isolation may also lead to decompensation with more difficult psychiatric care. Taken together, these suggest that the COVID-19 pandemic may exacerbate occupational hazards beyond the more obvious examples of healthcare settings or other jobs on the front line.<sup>4</sup>

For employers, maximising health benefits of teleworking in times of containment while minimising its negative impacts constitutes a continuity in their duty to preserve the health of their employees. To do so, they should provide key messages specifically tailored to an unanticipated and anxiety-provoking context in which employees may struggle to adapt their homes and lifestyles to telework.<sup>5</sup> They

should also allow teleconsultations as well as systems for listening to employee complaints with occupational practitioners to provide employees with optimised working conditions despite the pandemic circumstances. Companies are increasingly recognised as an integral player in outbreak management.<sup>6</sup> They also have a role to play in minimising the unintended health consequences of outbreak control measures.

Hanifa Bouziri <sup>1</sup>, David R M Smith,<sup>1,2</sup>  
Alexis Descatha <sup>3</sup>, William Dab,<sup>1</sup> Kevin Jean<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire MESuRS, Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris, France

<sup>2</sup>Laboratoire Épidémiologie et modélisation de l'Échappement aux Antibiotiques, Institut Pasteur, Paris, France

<sup>3</sup>Occupational Health Unit-UMS 011 U1168, Université de Versailles St-Quentin-Inserm APhP, Paris, France

**Correspondence to** Hanifa Bouziri, Laboratoire MESuRS, Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris, France; hanifa.bouziri@lecnam.net

**Contributors** HB, WD and KJ conducted the literature search and analysis. HB and KJ wrote the first draft of the report and all authors contributed to subsequent revisions.

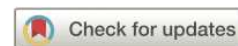
**Funding** The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

**Competing interests** None declared.

**Patient consent for publication** Not required.

**Provenance and peer review** Not commissioned; internally peer reviewed.

© Author(s) (or their employer(s)) 2020. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by BMJ.



**To cite** Bouziri H, Smith DRM, Descatha A, et al. *Occup Environ Med* 2020;**77**:509–510.

Received 13 April 2020

Revised 21 April 2020

**Table 1** Health impacts of telework, specificity of pandemic COVID-19-related containment and key prevention measures for employers

Family of risk	Effect of telework	Amplification or reduction in the context of COVID-19-related containment	Key prevention measures for employers
<b>Risks associated with transportation</b>	Decreased	None	–
<b>Risks associated with home working environment</b>	Increased risks associated with housing (fire, and slip, trip and fall hazards, temperature conditions)	Amplified (lack of anticipation)	Diffusion of simple, pragmatic security messages
	Increased risks associated with workstation (musculoskeletal pain)	Ambiguous (potentially amplified due to the lack of anticipation, poorly suited home working environment and reduced physical activity, but short duration of exposure)	Diffusion of simple, pragmatic messages on ergonomics <sup>5</sup> ; financial contribution to adapted equipment (adjustable chair and computer station); promotion of physical activity
<b>Psychosocial risks</b>	Increased risks of social isolation in the professional sphere	Reduced (universalisation of telework)	Adoption of virtual collective working periods (teleconferences)
	Increased risk of blurring of boundaries between work and home time	Potentially amplified by the multiplication of non-work-related tasks such as caring for children and facilitating home schooling	Adapt working time and schedule for workers ensuring home childcare
<b>Behavioural risks (diet, sleep, addiction)</b>	Ambiguous	Amplified (confinement, covid-linked anxiety)	Allow and promote teleconsultations with occupational practitioners

Accepted 22 April 2020

Published Online First 30 April 2020

*Occup Environ Med* 2020;**77**:509–510.  
doi:10.1136/oemed-2020-106599

### ORCID iDs

Hanifa Bouziri <http://orcid.org/0000-0002-3563-3700>

Alexis Descatha <http://orcid.org/0000-0001-6028-3186>

### REFERENCES

- 1 Tavares AI. Telework and health effects review. *Int J Healthc* 2017;3:30.
- 2 Montreuil S, Lippel K. Telework and occupational health: a Quebec empirical study and regulatory implications. *Saf Sci* 2003;41:339–58.
- 3 Standen P, Daniels K, Lamond D. The home as a workplace: work-family interaction and psychological well-being in telework. *J Occup Health Psychol* 1999;4:368–81.
- 4 Sim MR. The COVID-19 pandemic: major risks to healthcare and other workers on the front line. *Occup Environ Med* 2020;77:281–2.
- 5 International Labour Organization. Ergonomic tips when teleworking - COVID-19 : Protecting workers, 2020. Available: [https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/multimedia/video/institutional-videos/WCMS\\_740265/lang-en/index.htm](https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/multimedia/video/institutional-videos/WCMS_740265/lang-en/index.htm)
- 6 Fadel M, Salomon J, Descatha A. Coronavirus outbreak: the role of companies in preparedness and responses. *Lancet Public Health* 2020;5:e193.



### 24.2.3. Le télétravail après la pandémie

Rejeté par le passé, en raison de l'absence de certitudes et le scepticisme des employeurs quant aux apports bénéfiques du télétravail pour les entreprises, le télétravail imposé par la pandémie de COVID-19 s'est présenté comme une alternative vitale pour les entreprises qui le pouvaient afin d'assurer la continuité des activités. Depuis 2020, de nombreuses entreprises ont instauré le télétravail complet, partiel ou mixte (alternance de télétravail et présentiel). Indépendamment des recommandations officielles de distanciation physique ou de limitation des interactions sociales, la mise en place du télétravail au sein des entreprises a été principalement possible grâce à cinq avantages reconnaissables du télétravail, à savoir : une productivité éprouvée, une plus grande motivation des employés, une fluctuation réduite des employés, une réduction des coûts administratifs et une protection de l'environnement (Vayre, 2019; OECD, 2021).

### 24.2.4. Perspectives pour les années à venir

Le télétravail est très probablement amené à perdurer dans les années à venir. Pour prévenir au mieux la survenue de TMS chez les travailleurs, plusieurs suggestions peuvent être envisagées. En amont, une surveillance des conditions de travail des télétravailleurs et de la survenue de leurs douleurs au cours du temps peut être envisagé en complément de stratégies de prévention. Par exemple, on pourrait envisager une évaluation des besoins des employés en matière de télétravail, pour mieux comprendre les raisons pour lesquels ils souhaitent travailler à distance et les problématiques auxquelles ils sont confrontés et adapter la possibilité de télétravailler selon leurs besoins ; s'assurer que les employés utilisent bien des outils ergonomiques et adaptés à leur posture, ont un accès à internet et des conditions de travail propices ; favoriser la communication et la collaboration pour éviter l'isolement des travailleurs ; évaluer régulièrement l'efficacité des préventions en surveillant régulièrement les tendances en matière de télétravail et modifier les stratégies de préventions en conséquence pour s'assurer qu'elles restent efficaces au cours du temps. Comme mentionné précédemment, dans les prochaines études sur le télétravail peut avoir des effets différents sur la santé en fonction de la manière dont il est organisé et géré au sein de l'entreprise, il peut être protecteur ou représenter un risque pour les employés. Il est donc crucial de comprendre les pratiques et politiques mises en place par les employeurs pour évaluer l'impact du télétravail sur la santé des employés (Matsugaki et al., 2022).

En conclusion, il est important de souligner que les projections concernant l'évolution des TMS sont basées sur des données antérieures et ne peuvent donc pas prendre en compte des événements exceptionnels tels que celui que nous avons vécu lors de la pandémie de COVID-19. Ces événements inattendus et ponctuels peuvent considérablement influencer l'organisation du travail, l'évolution de certains métiers et, par conséquent, l'évolution des expositions professionnelles pouvant augmenter ou diminuer les TMS liés au travail. Il est donc important de considérer que ces modèles ne sont pas des prédictions certaines de l'avenir, mais plutôt des outils précieux pour comprendre ces pathologies et aider à l'orientation des politiques de prévention.

# Conclusion

Ce travail de thèse met en évidence l'importance de tenir compte des effets de la démographie et des tendances séculaires pour obtenir de projections de l'évolution des TMS. Le risque individuel de TMS pouvant évoluer au cours du temps, l'utilisation de modèles dynamique de type sérocatalytique est faisable et pertinente pour projeter l'évolution des TMS liés au travail. Pour une meilleure compréhension et prévention de ces pathologies, il est donc nécessaire de non seulement prendre en compte l'effet de l'âge, mais également de l'évolution temporelle du risque de TMS en fonction de l'âge. Ce travail ouvre la voie à l'utilisation de modèles dynamiques pour projeter l'évolution des TMS, et permet de rajouter un argument fort à la nécessité d'avoir accès à des données longitudinales sur les prévalences, les incidences et les facteurs de risque des TMS afin de pouvoir les intégrer dans des modèles dynamiques mécanistiques permettant de produire des projections plus précises de ces pathologies.

Les résultats obtenus dans cette thèse, outre les avancées méthodologiques sur la modélisation des maladies non-transmissibles, montrent d'une part, que les efforts de prévention déployés jusqu'à présent ne sont pas suffisants même dans des pays comme la Finlande, connu pour son excellence en santé au travail. D'autre part, ils montrent que le fardeau des TMS est appelé à croître dans les années qui viennent. Accolés dans une perspective de santé publique, ces deux constats plaident pour la mise en place d'actions de prévention durables qu'il s'agisse de politiques publiques ou de politiques d'entreprise.

Ainsi, cette thèse peut avoir des implications scientifiques et préventives. Si les TMS sont parmi les problèmes de santé les plus courants et les plus invalidants dans le monde, les efforts de production de connaissances et d'actions préventives ne sont pas à la hauteur du fardeau qu'ils créent.

Sur le plan scientifique, plusieurs pistes de recherches se dégagent prioritairement. Un premier point est l'attention particulière qu'il faut accorder aux TMS dans les pays de l'hémisphère Sud, pour lesquels les données sur l'évolution des tendances temporelles de ces troubles sont largement lacunaires. Un deuxième point concerne les tendances de fond. Pour aller plus loin dans la projection en termes de fiabilité et de pertinence, il faudrait pouvoir prendre en compte les expositions professionnelles, les conditions de travail en général, l'articulation entre la vie professionnelle et la vie personnelle, les spécificités liées au genre et les caractéristiques individuelles des travailleurs. La dynamique évolutive des TMS devrait être mieux documentée. Quel est le risque de récurrence ? Augmente-t-il avec le nombre d'épisodes ? Les

facteurs de risque de rechute sont-ils les mêmes que ceux des premiers épisodes ? Clairement, l'effort de recherche a jusqu'à présent surtout porté sur l'identification des grands facteurs de risque, mais il est maintenant nécessaire d'affiner ces questions.

Sur le plan de la prévention, il est important de noter qu'elle doit être renforcée par une stratégie globale. La poursuite des efforts de prévention primaire ciblant les facteurs de risques biomécaniques, psychosociaux et environnementaux des TMS est indispensable. Pour que cette prévention soit la plus efficace possible, les facteurs de risques de ces pathologies ne doivent pas être considérées individuellement mais selon une stratégie intégrée prenant en compte la contribution de chaque facteur de risque en fonction du type de trouble, de la gravité de la douleur, et du profil de la population concernée, plutôt que d'examiner les facteurs de risques individuellement. Ces actions doivent en outre s'inscrire dans la durée. Il faudra aussi viser à réorganiser les conditions de travail dans certains secteurs. Cela implique de travailler en amont pour éliminer ou minimiser les facteurs de risques de façon holistique, de manière à réduire l'incidence de ces pathologies.

La mise en place de modèles de projections pour les TMS, en fonction de l'évolution des facteurs de risque pourrait permettre d'estimer l'impact de stratégies de prévention diverses, qu'elles soient mono ou plurifactorielles. Cette démarche permettrait ainsi d'appréhender de manière plus fine et précise l'efficacité de chaque stratégie et de guider le choix de la plus pertinente pour prévenir les TMS.

Enfin, pour relier la dimension scientifique et la dimension préventive, les études de projection devraient intégrer une dimension économique de sorte qu'un calcul de retour sur investissement des actions de prévention puisse être effectué. Même si on peut regretter que le seul argument de la protection de la santé ne soit pas suffisant pour motiver la prévention, on ne devrait pas se priver de l'argument économique qui est bien souvent celui qui domine chez les décideurs. Les travaux développés dans cette thèse peuvent y contribuer.

**Summary of overall results, limitations, and  
the general conclusion**

## 25. Overall results

The study on spatio-temporal trends of work-related musculoskeletal disorders (MSD) from 1990 to 2019 from the Global Burden of Disease highlighted variation in MSD prevalence among countries, with most showing an increase in MSD burden. The low back pain had the highest prevalence, which is expected to continue due to the ageing of the world population. Most observed trends showed that the increase in MSD is explained mainly by age, especially for low back and neck pain. However, demographic differences are not the only factor to consider in understanding MSD distribution. Differences in prevalence observed by country in 2019 showed that prevalences are much higher in high-income countries compared to low-income countries. It was also revealed that income levels and medical density per region were significantly correlated with observed prevalence. This work highlighted the importance of widespread MSD surveillance and refining data collection methods to understand these conditions better and develop effective prevention and management policies.

To our knowledge, the systematic literature review is the first to summarise existing evidence to distinguish the role of age and secular time in MSD occurrence. Results show significant disparities in studies on temporal trends of MSD, which generally report either non-monotonic changes or increases in MSD over time. Other factors besides ageing have also been suggested to explain these developments, including obesity, occupational and cultural exposures, and pain tolerance. This review highlights residual uncertainties in understanding MSD evolution, mainly due to a limited number of articles on this topic and a lack of data from low- or middle-income countries. It was also shown that temporal trends of MSD vary mainly between increases and non-monotonic changes depending on their location, severity, and age.

Our third study is, to our knowledge, the first to explore the use of infectious disease models to project the evolution of work-related MSD. Results indicate that taking age into account alone is not sufficient for MSD projections and that secular time also appears to play an important role. To validate these results, future research should apply these models to MSD prevalence data over an extended period and examine the evolution of occupational exposures and individuals' work history. If these studies support these observations, more detailed analyses could be conducted to make more accurate projections of work-related MSD trends,

considering factors such as exposure frequency, age, sex, socioeconomic category, sector of activity, region, and country. This research has important implications for the prevention and early detection of work-related MSD.



## 26. Limitations

Besides the limitations regarding the use of Eurostat LFS data presented in Chapter 3, several limitations related to MSD should be considered. Firstly, the analysis of MSD is complicated due to multiple criteria used to identify it, such as medical diagnoses based on joint movements, patient self-reported pain, or quantifiable consequences like work absences, health costs, and rehabilitation (Chen et al., 2022). Additionally, the natural history of MSD can vary significantly based on factors such as location in the body, recovery time, recurrence, and severity.

The demographic projections used to apply MSD projections are general population estimates based on historical trends and assumptions about birth, death, and migration rates (World Population Prospects, 2022a). These data have been used to make MSD projections while considering the potential evolution of population demographic structures, but they should be used with caution for several reasons. Firstly, we selected these data for age ranges of working-age individuals. However, this does not guarantee that all individuals in these age ranges are active in the labour market. Furthermore, the evolution of worker profiles may vary in the coming years due to changes in jobs, working conditions, and retirement age. Therefore, it is important to consider these parameters when interpreting these projections.

The study of the global burden of MSD has limitations, mainly due to the complexity of the involved factors and the difficulty in obtaining reliable and complete data. Nevertheless, these limitations do not undermine the validity of the comparison between the classic model and the adapted model 10 from serocatalytic models. With this limitation being present for both methods, their comparison remains relevant.

## 27. General conclusion

This thesis highlights the importance of considering the effects of demography and secular trends to obtain projections of the evolution of MSDs. Since the individual risk of MSDs can change over time, using dynamic models of the serocatalytic type is feasible and relevant to project the evolution of work-related MSDs. For a better understanding and prevention of these pathologies, it is, therefore, necessary to consider the effect of age and the temporal evolution of the risk of MSDs according to age. This work paves the way for dynamic models to project the evolution of MSD and makes it possible to add a strong argument to the need for access to longitudinal data on the prevalences, incidences and risk factors of MSDs. TMS to integrate them into mechanistic dynamic models allow to produce of more precise projections of these pathologies.

The results obtained in this thesis, in addition to the methodological advances in modelling non-transmissible diseases, show, on the one hand, that the prevention efforts deployed so far are not sufficient even in countries like Finland, known for its excellence in workplace health. On the other hand, they show that the importance of MSD is expected to increase in the coming years. From a public health perspective, these two findings call for implementing sustainable prevention actions, whether public or corporate policies.

Thus, this thesis can have scientific and preventive implications. However, if MSD are among the most common and disabling health problems in the world, the efforts to produce knowledge and preventive actions are not up to the burden they create.

On the scientific side, several research priorities emerge. The first point is the special attention that must be given to MSD in countries in the southern hemisphere, for which data on the evolution of the trends of these disorders are mainly lacking. A second point concerns the underlying trends. To advance further in terms of reliability and relevance, it would be necessary to consider occupational exposures, working conditions in general, the relationship between work life and personal life, gender-specificities, and individual worker characteristics. Finally, the evolving dynamics of MSD should be better documented. What is the risk of recurrence? Does it increase with the number of episodes? Are the risk factors for relapse the

same as those for the first episodes? So far, research has mainly focused on identifying the major risk factors, but it is now necessary to refine these questions.

On the prevention side, it is important to note that an overall strategy must reinforce it. Continuing the efforts of primary prevention targeting the biomechanical, psychosocial, and environmental risk factors of MSD is essential. For this prevention to be as effective as possible, the risk factors of these pathologies should not be considered individually but according to an integrated strategy considering the contribution of each risk factor according to the type of disorder, the severity of pain, and the profile of the affected population, rather than examining risk factors individually. And these actions must be long-lasting. It will also be necessary to aim to reorganize working conditions in specific sectors. This implies working upstream to eliminate or minimize risk factors holistically to reduce the incidence of these pathologies.

The implementation of projection models for MSD, according to the evolution of risk factors, could make it possible to estimate the impact of various prevention strategies, whether mono or multi-factorial. This approach would thus make it possible to apprehend in a more detailed and precise way the effectiveness of each strategy and to guide the choice of the most relevant to prevent MSD.

Finally, to link the scientific dimension and the preventive dimension, the projection studies should integrate an economic dimension so that a calculation of the return on investment of preventive actions can be carried out. Even if we regret that the only argument of health protection is insufficient to motivate prevention, we should not forget the economic argument, which is often the one that dominates among decision-makers. The work developed in this thesis can contribute to this.

## *Conclusions personnelles*

*Ma thèse a été une aventure riche qui m'a permis de grandir en tant que chercheuse. J'ai commencé en tant qu'épidémiologiste spécialisée en risques infectieux pour ensuite intégrer des méthodes de modélisation de maladies infectieuses appliquées aux maladies non-transmissibles. En découvrant l'univers de la santé au travail par le biais de l'étude des troubles musculosquelettiques, j'ai renforcé mon intérêt pour l'étude de thématiques de recherches interdisciplinaires.*

*L'étude de ces troubles m'a permis par ailleurs de prendre conscience des lacunes de connaissances dans ce domaine malgré l'importance du fardeau ces pathologies dans la population mondiale. Je vois ici une belle opportunité de continuer à travailler dans ce domaine où de nombreuses perspectives de recherche sont envisageables.*

*J'ai eu la chance d'être encadrée par des personnes exceptionnelles qui m'ont accompagnée au fil ces trois années de thèse et m'ont donné une grande liberté dans mon travail me permettant d'explorer des sujets qui m'intéressaient. J'ai donc pu développer en plus de ma thèse, des projets sur des thématiques de maladies infectieuses, environnementales ou encore de santé planétaire. Cela a confirmé mon appétence pour la compréhension des enjeux globaux en abordant une approche holistique, qui m'a également permis de renforcer mes compétences en modélisation et de mieux comprendre les outils pouvant être utilisés en santé publique.*

*Dans mes futurs projets de recherche, j'aspire à continuer à explorer différents domaines de recherche interdisciplinaires, à travers la perspective de l'exposome qui offre une compréhension plus holistique de la santé globale pour relever les défis en matière de santé publique et de gestion des risques sanitaires.*

## Références

- Abdalla, S., Apramian, S. S., Cantley, L. F., & Cullen, M. R. (2017). Occupation and Risk for Injuries. In *Injury Prevention and Environmental Health. 3rd edition*. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. [https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0522-6\\_ch6](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0522-6_ch6)
- Ackerman, I. N., Bohensky, M. A., Zomer, E., Tacey, M., Gorelik, A., Brand, C. A., & Steiger, R. (2019). The projected burden of primary total knee and hip replacement for osteoarthritis in Australia to the year 2030. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2411-9>
- Ades, A. E., & Nokes, D. J. (1993). Modeling age- and time-specific incidence from seroprevalence: toxoplasmosis. *American Journal of Epidemiology*, 137(9), 1022–1034. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a116758>
- Ahmadi-Abhari, S., Guzman-Castillo, M., Bandosz, P., Shipley, M. J., Muniz-Terrera, G., Singh-Manoux, A., Kivimäki, M., Steptoe, A., Capewell, S., O’Flaherty, M., & Brunner, E. J. (2017). Temporal trend in dementia incidence since 2002 and projections for prevalence in England and Wales to 2040: Modelling study. *BMJ*, 358, j2856. <https://doi.org/10.1136/bmj.j2856>
- Akpogheneta, O. J., Duah, N. O., Tetteh, K. K. A., Dunyo, S., Lanar, D. E., Pinder, M., & Conway, D. J. (2008). Duration of naturally acquired antibody responses to blood-stage Plasmodium falciparum is age dependent and antigen specific. *Infection and Immunity*, 76(4), 1748–1755. <https://doi.org/10.1128/IAI.01333-07>
- Alcouffe, J., Manillier, P., Brehier, M., Fabin, C., & Faupin, F. (1999). Analysis by sex of low back pain among workers from small companies in the Paris area: Severity and occupational consequences. *Occupational and Environmental Medicine*, 56(10), 696–701.
- Algava, E., Davie, E., Loquet, J., & Vinck, L. (2014). *Conditions de travail. Reprise de l’intensification du travail chez les salariés | Dares*. <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publications/conditions-de-travail-reprise-de-l-intensification-du-travail-chez-les-salaries>
- Alghadir, A. H., Gabr, S. A., & Al-Eisa, E. S. (2017). Mechanical factors and vitamin D deficiency in schoolchildren with low back pain: Biochemical and cross-sectional survey analysis. *Journal of Pain Research*, 10, 855–865. <https://doi.org/10.2147/JPR.S124859>
- Arnaudo, B. (2012). *L’évolution des risques professionnels dans le secteur privé entre 1994 et 2010 | Dares*. <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publications/2012-023-l-evolution-des-risques-professionnels-dans-le-secteur-prive-entre>
- Aroui, H., Merchaoui, I., Adnène Henchi, M., Rassas, I., Belhadj, N., Chaari, N., & Amri, C. (2016). Musculoskeletal disorders of the hand and wrist and population attributable fraction of risk of exposure to biomechanical constraints. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 59, e113–e114. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.07.255>

- Assurance Maladie, ameli. (2020). *TMS: Définition et impact*. <https://www.ameli.fr/entreprise/sante-travail/risques/troubles-musculosquelettiques-tms/tms-definition-impact>
- Auchincloss, A. H., & Diez Roux, A. V. (2008). A New Tool for Epidemiology: The Usefulness of Dynamic-Agent Models in Understanding Place Effects on Health. *American Journal of Epidemiology*, *168*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn118>
- AWCS. (2015). *American Working Conditions Survey*. <https://www.rand.org/education-and-labor/projects/american-working-conditions.html>
- Baker, D. B., & Landrigan, P. J. (1990). Occupationally related disorders. *The Medical Clinics of North America*, *74*(2), 441–460. [https://doi.org/10.1016/s0025-7125\(16\)30572-7](https://doi.org/10.1016/s0025-7125(16)30572-7)
- Balci, N., Balci, M. K., & Tüzüner, S. (1999). Shoulder adhesive capsulitis and shoulder range of motion in type II diabetes mellitus: Association with diabetic complications. *Journal of Diabetes and Its Complications*, *13*(3), 135–140. [https://doi.org/10.1016/s1056-8727\(99\)00037-9](https://doi.org/10.1016/s1056-8727(99)00037-9)
- Ballas, D., Broomhead, T., & Jones, P. (2019). Spatial Microsimulation and Agent-Based Modelling. In *The Practice of Spatial Analysis: Essays in memory of Professor Pavlos Kanaroglou* (pp. 69–84). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-89806-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-89806-3_4)
- BAO, S., N, H., & J.H, L. (2020). Are work-related musculoskeletal disorders claims related to risk factors in workplaces of the manufacturing industry? = (Les demandes d'indemnisation pour troubles musculo-squelettiques liés au travail sont-elles liées aux facteurs de risque sur les lieux de travail de l'industrie manufacturière?). 64. *Are work-related musculoskeletal disorders claims related to risk factors in workplaces of the manufacturing industry? = (Les demandes d'indemnisation pour troubles musculo-squelettiques liés au travail sont-elles liées aux facteurs de risque sur les lieux de travail de l'industrie manufacturière?)*. 64. <https://portaildocumentaire.inrs.fr/Default/doc/SYRACUSE/558531/are-work-related-musculoskeletal-disorders-claims-related-to-risk-factors-in-workplaces-of-the-manuf>
- Bao, S. S., Kapellusch, J. M., Merryweather, A. S., Thiese, M. S., Garg, A., Hegmann, K. T., & Silverstein, B. A. (2016). Relationships between job organisational factors, biomechanical and psychosocial exposures. *Ergonomics*, *59*(2), 179–194. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1065347>
- Bell, J. A., Sabia, S., Singh-Manoux, A., Hamer, M., & Kivimäki, M. (2017). Healthy obesity and risk of accelerated functional decline and disability. *International Journal of Obesity* (2005), *41*(6), 866–872. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.51>
- Beller, E. M., Glasziou, P. P., Altman, D. G., Hopewell, S., Bastian, H., Chalmers, I., Gøtzsche, P. C., Lasserson, T., Tovey, D., & Group, for the P. for A. (2013). PRISMA for Abstracts: Reporting Systematic Reviews in Journal and Conference Abstracts. *PLOS Medicine*, *10*(4), e1001419. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001419>
- Bellon, B., Ben Youssef, A., & M'Henni, H. (2006). Nouvelles technologies et management dans les pays du Sud méditerranéen. *Revue française de gestion*, *166*(7), 173–189. <https://doi.org/10.3166/rfg.166.173-190>



- Benavides, F. G., Benach, J., Muntaner, C., Delclos, G. L., Catot, N., & Amable, M. (2006). Associations between temporary employment and occupational injury: What are the mechanisms? *Occupational and Environmental Medicine*, 63(6), 416–421. <https://doi.org/10.1136/oem.2005.022301>
- Bevan, S. (2015). Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Practice & Research. Clinical Rheumatology*, 29(3), 356–373. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2015.08.002>
- BIRD-IDA. (2017). *Physicians (per 1,000 people) | Data*. <https://data.worldbank.org/indicator/SH.MED.PHYS.ZS>
- Blancheton, B. (2020). 37. Le fordisme. In *Sciences économiques: Vol. 4e éd.* (pp. 106–107). Dunod. <https://www.cairn.info/sciences-economiques--9782100805587-p-106.htm>
- Blyth, F. M., Briggs, A. M., Schneider, C. H., Hoy, D. G., & March, L. M. (2019). The Global Burden of Musculoskeletal Pain—Where to From Here? *American Journal of Public Health*, 109(1), 35–40. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2018.304747>
- Bobillier-Chaumon, M.-É., & Dubois, M. (2009). L’adoption des technologies en situation professionnelle: Quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? *Le travail humain*, 72(4), 355–382. <https://doi.org/10.3917/th.724.0355>
- Boboc, A. (2017). Numérique et travail: Quelles influences ? *Sociologies pratiques*, 34(1), 3–12. <https://doi.org/10.3917/sopr.034.0003>
- Bodin, J. (2017). *Déterminants professionnels des troubles musculo-squelettiques de l’épaule: Intérêt de la prise en compte des facteurs organisationnels* [Phdthesis, Université d’Angers]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02613226>
- Bodin, J., Ha, C., SéRazin, C., Descatha, A., Leclerc, A., Goldberg, M., & Roquelaure, Y. (2012). Effects of Individual and Work-related Factors on Incidence of Shoulder Pain in a Large Working Population. *Journal of Occupational Health*, 54(4), 278–288. <https://doi.org/10.1539/joh.11-0262-OA>
- Boilait, E. (2022, July 15). «L’ubérisation et la numérisation du monde entraînent la disparition du monde salarié». LEFIGARO. <https://www.lefigaro.fr/vox/economie/l-uberisation-et-la-numerisation-du-monde-entraident-la-disparition-du-monde-salarie-20220715>
- Bongers, P. M., Hulshof, C. T. J., Dijkstra, L., Boshuizen, H. C., Groenhout, H. J. M., & Valken, E. (1990). Back pain and exposure to whole body vibration in helicopter pilots. *Ergonomics*, 33(8), 1007–1026. <https://doi.org/10.1080/00140139008925309>
- Boot, C. R. L., van Drongelen, A., Wolbers, I., Hlobil, H., van der Beek, A. J., & Smid, T. (2017). Prediction of long-term and frequent sickness absence using company data. *Occupational Medicine*, 67(3), 176–181. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqx014>
- Bosma, E., Loef, B., van Oostrom, S. H., & Proper, K. I. (2022). The longitudinal association between working from home and musculoskeletal pain during the COVID-19 pandemic. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00420-022-01946-5>

- Bosomprah, S. (2014). A mathematical model of seropositivity to malaria antigen, allowing seropositivity to be prolonged by exposure. *Malaria Journal*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-12>
- Bourguignona, F. (2022). *Micro-Simulating the Impact of Public Policies on Households: Why, How and Which Ones?* <http://www.cae-eco.fr/en/micro-simuler-limpact-des-politiques-publiques-sur-les-menages-pourquoi-comment-et-lesquelles>
- Bouzgarrou, L., Latifa, Ben, A., Kheder, A., Omrane, A., & Hermassi, F. (2021). P-261 Semi-quantitative ergonomic assessment of Biomechanical risk factors of the upper limbs' musculoskeletal disorders among Tunisian jewelry craftsmen—ProQuest. <https://www.proquest.com/openview/60dabfc6ff78bd3808eb88ee6b51db3f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2041056>
- Brauer, F. (2017). Mathematical epidemiology: Past, present, and future. *Infectious Disease Modelling*, 2(2), 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.idm.2017.02.001>
- Brennan-Olsen, S. L., Cook, S., Leech, M. T., Bowe, S. J., Kowal, P., Naidoo, N., Ackerman, I. N., Page, R. S., Hosking, S. M., Pasco, J. A., & Mohebbi, M. (2017). Prevalence of arthritis according to age, sex and socioeconomic status in six low and middle income countries: Analysis of data from the World Health Organization study on global AGEing and adult health (SAGE) Wave 1. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 18(1), 271. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1624-z>
- Briggs, A. M., Woolf, A. D., Dreinhöfer, K., Homb, N., Hoy, D. G., Kopansky-Giles, D., Åkesson, K., & March, L. (2018). Reducing the global burden of musculoskeletal conditions. *Bulletin of the World Health Organization*, 96(5), 366–368. <https://doi.org/10.2471/BLT.17.204891>
- Bruce P., B. (1997). *Musculoskeletal disorders and workplace factors; a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back.* <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/21745>
- Burdorf, A., Govaert, G., & Elders, L. (1991). Postural load and back pain of workers in the manufacturing of prefabricated concrete elements. *Ergonomics*, 34(7), 909–918. <https://doi.org/10.1080/00140139108964834>
- Burdorf, A., Naaktgeboren, B., & de Groot, H. C. (1993). Occupational risk factors for low back pain among sedentary workers. *Journal of Occupational Medicine.: Official Publication of the Industrial Medical Association*, 35(12), 1213–1220.
- Burdorf, A., Naaktgeboren, B., & Post, W. (1998). Prognostic Factors for Musculoskeletal Sickness Absence and Return to Work among Welders and Metal Workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 55(7), 490–495.
- Buruck, G., Tomaschek, A., Wendsche, J., Ochsmann, E., & Dörfel, D. (2019). Psychosocial areas of worklife and chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2826-3>
- Cantley, L. F., Taiwo, O. A., Galusha, D., Barbour, R., Slade, M. D., Tessier-Sherman, B., & Cullen, M. R. (2014). Effect of systematic ergonomic hazard identification and control

- implementation on musculoskeletal disorder and injury risk. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 40(1), 57–65. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3394>
- Carey, T. S., & Garrett, J. M. (2003). The relation of race to outcomes and the use of health care services for acute low back pain. *Spine*, 28(4), 390–394. <https://doi.org/10.1097/01.BRS.0000048499.25275.51>
- Caroly, S., & Landry, A. (2016). Troubles musculo-squelettiques (TMS). In *Psychologie du Travail et des Organisations* (pp. 426–428). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.valle.2016.01.0426>
- Casiano, V. E., Sarwan, G., Dydyk, A. M., & Varacallo, M. (2022). Back Pain. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538173/>
- Cauchemez, S., Hoze, N., Cousien, A., Nikolay, B., & ten bosch, Q. (2019). How Modelling Can Enhance the Analysis of Imperfect Epidemic Data. *Trends in Parasitology*, 35(5), 369–379. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2019.01.009>
- CDC. (2020, February 11). *Cases, Data, and Surveillance—What COVID-19 Seroprevalence Surveys Can Tell Us*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/covid-data/seroprevalance-surveys-tell-us.html>
- CDC. (2021, May 12). *Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) Evaluation Measures | Workplace Health Strategies by Condition | Workplace Health Promotion | CDC*. <https://www.cdc.gov/workplacehealthpromotion/health-strategies/musculoskeletal-disorders/evaluation-measures/index.html>
- Charpentier, P. (2007). *Management et gestion des organisations*. <https://www.eyrolles.com/Entreprise/Livre/management-et-gestion-des-organisations-9782200351533/>
- Chen, N., Fong, D. Y. T., & Wong, J. Y. H. (2022). Secular Trends in Musculoskeletal Rehabilitation Needs in 191 Countries and Territories From 1990 to 2019. *JAMA Network Open*, 5(1), e2144198. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.44198>
- Choi, S., Yuan, L., & Borchardt, J. (2016). Musculoskeletal Disorders in Construction: Practical Solutions from the Literature. *Professional Safety*, 61, 26–32.
- Christensen, K., Doblhammer, G., Rau, R., & Vaupel, J. W. (2009). Ageing populations: The challenges ahead. *Lancet (London, England)*, 374(9696), 1196–1208. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61460-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61460-4)
- Chung, M. K., & Choi, K. (1997). Ergonomic analysis of musculoskeletal discomforts among conversational VDT operators. *Computers & Industrial Engineering*, 33(3), 521–524. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(97\)00183-6](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00183-6)
- Cieza, A., Causey, K., Kamenov, K., Hanson, S. W., Chatterji, S., & Vos, T. (2020). Global estimates of the need for rehabilitation based on the Global Burden of Disease study 2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, 396(10267), 2006–2017. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32340-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32340-0)

- Clayton, D., & Schifflers, E. (1987a). Models for temporal variation in cancer rates. I: Age-period and age-cohort models. *Statistics in Medicine*, 6(4), 449–467. <https://doi.org/10.1002/sim.4780060405>
- Clayton, D., & Schifflers, E. (1987b). Models for temporal variation in cancer rates. II: Age-period-cohort models. *Statistics in Medicine*, 6(4), 469–481. <https://doi.org/10.1002/sim.4780060406>
- Cohorte Constances (consultants des centres d'examen de santé de la sécurité sociale) (2017A706AU)*. (n.d.). CNIS. Retrieved November 22, 2022, from <https://www.cnis.fr/enquetes/cohorte-constances-consultants-des-centres-dexamen-de-sante-de-la-securite-sociale/>
- Cole, D. C., & Rivilis, I. (2004). Individual factors and musculoskeletal disorders: A framework for their consideration. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 14(1), 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.021>
- Corran, P., Coleman, P., Riley, E., & Drakeley, C. (2007). Serology: A robust indicator of malaria transmission intensity? *Trends in Parasitology*, 23(12), 575–582. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2007.08.023>
- Côté, P., van der Velde, G., Cassidy, J. D., Carroll, L. J., Hogg-Johnson, S., Holm, L. W., Carragee, E. J., Haldeman, S., Nordin, M., Hurwitz, E. L., Guzman, J., & Peloso, P. M. (2008). The Burden and Determinants of Neck Pain in Workers: Results of the Bone and Joint Decade 2000–2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. *Spine*, 33(4S), S60. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181643ee4>
- Covidence—Better systematic review management*. (n.d.). Covidence. Retrieved April 22, 2021, from <https://www.covidence.org/>
- Cui, J., de Klerk, N., Abramson, M., Del Monaco, A., Benke, G., Dennekamp, M., Musk, A. W., & Sim, M. (2009). Fractional polynomials and model selection in generalized estimating equations analysis, with an application to a longitudinal epidemiologic study in Australia. *American Journal of Epidemiology*, 169(1), 113–121. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn292>
- da Costa, B. R., & Vieira, E. R. (2010). Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine*, 53(3), 285–323. <https://doi.org/10.1002/ajim.20750>
- Dab, W. (2020). *Chapitre III. Nouveaux visages des risques, un monde d'incertitudes: Vol. 5e éd.* (pp. 44–63). Presses Universitaires de France. <https://www.cairn.info/sante-et-environnement--9782715402799-p-44.htm>
- DARES. (2016, 2017). *La surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels (2016-2017) | DARES*. <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/enquete-source/la-surveillance-medicale-des-expositions-des-salaries-aux-risques-professionnels-2>
- DARES. (2018). *Conditions de travail (2019) | DARES*. <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/enquete-source/conditions-de-travail-2019>

- DARES. (2019). *Les conditions concrètes du recueil des données de l'enquête Sumer 2016-2017*. <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publication/les-conditions-concretes-du-recueil-des-donnees-de-lenquete-sumer-2016-2017>
- Database—Eurostat. (2019). <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- David, H., Volkoff, S., Cloutier, E., & Derriennic, F. (2001). Vieillesse, organisation du travail et santé. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 3–1, Article 3–1. <https://doi.org/10.4000/pistes.3745>
- de Bonnafos, G. (1984). Automatisation et nouvelles formes d'organisation du travail dans l'industrie automobile. *Formation Emploi*, 8(1), 5–14. <https://doi.org/10.3406/forem.1984.1095>
- DE KROM, M. C. T. F. M., KESTER, A. D. M., KNIPSCHILD, P. G., & SPAANS, F. (1990). RISK FACTORS FOR CARPAL TUNNEL SYNDROME. *American Journal of Epidemiology*, 132(6), 1102–1110. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a115753>
- De Witte, H., Vander Elst, T., & De Cuyper, N. (2015). Job Insecurity, Health and Well-Being. In J. Vuori, R. Blonk, & R. H. Price (Eds.), *Sustainable Working Lives: Managing Work Transitions and Health throughout the Life Course* (pp. 109–128). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9798-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9798-6_7)
- Deeney, C., & O'Sullivan, L. (2009). Work related psychosocial risks and musculoskeletal disorders: Potential risk factors, causation and evaluation methods. *Work (Reading, Mass.)*, 34(2), 239–248. <https://doi.org/10.3233/WOR-2009-0921>
- Descatha, A., Sembajwe, G., Baer, M., Boccuni, F., Di Tecco, C., Duret, C., Evanoff, B. A., Gagliardi, D., Ivanov, I. D., Leppink, N., Marinaccio, A., Magnusson Hanson, L. L., Ozguler, A., Pega, F., Pell, J., Pico, F., Prüss-Üstün, A., Ronchetti, M., Roquelaure, Y., ... Iavicoli, S. (2018). WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of exposure to long working hours and of the effect of exposure to long working hours on stroke. *Environment International*, 119, 366–378. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.06.016>
- Desnoyers, F. (2022, February 3). « Ubérisation, et après ? » : les dangers d'un travail en miettes. *Le Monde.fr*. [https://www.lemonde.fr/emploi/article/2022/02/03/uberisation-et-apres-les-dangers-d-un-travail-en-miettes\\_6112117\\_1698637.html](https://www.lemonde.fr/emploi/article/2022/02/03/uberisation-et-apres-les-dangers-d-un-travail-en-miettes_6112117_1698637.html)
- Di Bernardino, C., & Onesti, G. (2021). Explaining deindustrialisation from a vertical perspective: Industrial linkages, producer services, and international trade. *Economics of Innovation and New Technology*, 30(7), 685–706. <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1763550>
- Dick, R. B., Lowe, B. D., Lu, M.-L., & Krieg, E. F. (2020). Trends in Work-Related Musculoskeletal Disorders From the 2002 to 2014 General Social Survey, Quality of Work Life Supplement. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 62(8), 595–610. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001895>
- Diouf, I., Charles, M. A., Ducimetière, P., Basdevant, A., Eschwege, E., & Heude, B. (2010). Evolution of obesity prevalence in France: An age-period-cohort analysis.

*Epidemiology* (Cambridge, Mass.), 21(3), 360–365.  
<https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181d5bff5>

- Drakeley, C., & Cook, J. (2009). Chapter 5 Potential Contribution of Sero-Epidemiological Analysis for Monitoring Malaria Control and Elimination: Historical and Current Perspectives. In *Advances in Parasitology* (Vol. 69, pp. 299–352). Academic Press.  
[https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(09\)69005-9](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(09)69005-9)
- Drees. (2021). *L'enquête Santé et itinéraire professionnel (SIP) | Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques*. <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/sources-outils-et-enquetes/06-lenquete-sante-et-itineraire-professionnel-sip>
- Driscoll, T., Jacklyn, G., Orchard, J., Passmore, E., Vos, T., Freedman, G., Lim, S., & Punnett, L. (2014). The global burden of occupationally related low back pain: Estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 73(6), 975–981. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2013-204631>
- Dubois, M., & Bobillier-Chaumon, M.-É. (2019). Acceptabilité. In *Psychologie du Travail et des Organisations: 110 notions clés: Vol. 2e éd.* (pp. 19–22). Dunod.  
<https://doi.org/10.3917/dunod.valle.2019.01.0019>
- Durant, J.-P. (2004). *La Chaîne invisible*. <https://www.seuil.com/ouvrage/la-chaine-invisible-jean-pierre-durand/9782021092165>
- Eberly, L. E., & Casella, G. (2003). Estimating Bayesian credible intervals. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 112(1), 115–132. [https://doi.org/10.1016/S0378-3758\(02\)00327-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3758(02)00327-0)
- Eck, J.-F. (2009). Chapitre 8—La mutation des secteurs productifs. Le cas de l'agriculture. In *Histoire de l'économie française* (pp. 264–286). Armand Colin.  
<https://doi.org/10.3917/arco.eck.2009.01.0264>
- Ettighoffer, D. (2001). *L'entreprise virtuelle: Nouveaux modes de travail, nouveaux modes de vie ?* Ed. d'Organisation.
- EU labour force survey—Modules*. (n.d.). Retrieved November 28, 2022, from [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU\\_labour\\_force\\_survey\\_-\\_modules](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_labour_force_survey_-_modules)
- Eurofound. (2017). *Sixth European Working Conditions Survey – Overview report*. Eurofound.  
<https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2016/working-conditions/sixth-european-working-conditions-survey-overview-report>
- Eurofound. (2021). *European Working Conditions Surveys (EWCS)*. Eurofound.  
<https://www.eurofound.europa.eu/surveys/european-working-conditions-surveys-ewcs>
- European Working Conditions Surveys (EWCS)*. (1990). Eurofound.  
<https://www.eurofound.europa.eu/surveys/european-working-conditions-surveys-ewcs>

- Eurostat. (2009). *Evaluation-Report-AHM-2007*.  
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1978984/6037334/Evaluation-Report-AHM-2007.pdf>
- Eurostat. (2021). *Self-reported work-related health problems and risk factors—Key statistics*.  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Self-reported\\_work-related\\_health\\_problems\\_and\\_risk\\_factors\\_-\\_key\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Self-reported_work-related_health_problems_and_risk_factors_-_key_statistics)
- Evanoff, B., Yung, M., Buckner-Petty, S., Baca, M., Andersen, J. H., Roquelaure, Y., Descatha, A., & Dale, A. M. (2019). Cross-national comparison of two general population job exposure matrices for physical work exposures. *Occupational and Environmental Medicine*, 76(8), 567–572. <https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105408>
- Flonneau, M. (2008). Américanisation et universalisation de l’automobile. In *Les cultures du volant XXe-XXIe siècles* (pp. 49–56). Autrement. <https://www.cairn.info/les-cultures-du-volant-xxe-xxie-siecles--9782746711839-p-49.htm>
- Flor, M., Weiß, M., Selhorst, T., Müller-Graf, C., & Greiner, M. (2020). Comparison of Bayesian and frequentist methods for prevalence estimation under misclassification. *BMC Public Health*, 20, 1135. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09177-4>
- Fontaine, M., & Vigna, X. (2019). La désindustrialisation, une histoire en cours. 20 & 21. *Revue d’histoire*, 144(4), 2–17. <https://doi.org/10.3917/vin.144.0002>
- Fouquet, B., Roulet, A., Roquelaure, Y., & Herisson, C. (n.d.). *Epaule et activités professionnelles, fouquet, roulet, roquelaure, hérisson, pathologies professionnelles et médecine de réadaptation*. Sauramps Medical. Retrieved November 4, 2022, from <https://www.livres-medicaux.com/medecine-de-reeducation/5936-epaule-et-activites-professionnelles.html>
- Fouquet, N., Chérié-Challine, L., Rubion, E., Descatha, A., & Roquelaure, Y. (2020). *Troubles musculo-squelettiques liés au travail: Nombre de cas évitables par l’application d’un scénario théorique de prévention*. <https://www.santepubliquefrance.fr/import/troubles-musculo-squelettiques-lies-au-travail-nombre-de-cas-evitables-par-l-application-d-un-scenario-theorique-de-prevention>
- Fournier, V. (1992). 1 - Naissance et développement des sociétés industrielles nordiques. Le paysage économique. Classes anciennes et nouvelles jusqu’à la fin des années 20. In *Les sociétés scandinaves de la Réforme à nos jours* (pp. 379–408). Presses Universitaires de France. <https://www.cairn.info/les-societes-scandinaves-de-la-reforme-a-nos-jours--9782130441281-p-379.htm>
- Fransson, E. I., Nyberg, S. T., Heikkilä, K., Alfredsson, L., Bacquer, D. D., Batty, G. D., Bonenfant, S., Casini, A., Clays, E., Goldberg, M., Kittel, F., Koskenvuo, M., Knutsson, A., Leineweber, C., Magnusson Hanson, L. L., Nordin, M., Singh-Manoux, A., Suominen, S., Vahtera, J., ... Kivimäki, M. (2012). Comparison of alternative versions of the job demand-control scales in 17 European cohort studies: The IPD-Work consortium. *BMC Public Health*, 12(1), 62. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-62>

- Freemont, A. J., & Hoyland, J. A. (2007). Morphology, mechanisms and pathology of musculoskeletal ageing. *The Journal of Pathology*, 211(2), 252–259. <https://doi.org/10.1002/path.2097>
- French Public Health (SPF). (2022). *Musculoskeletal disorders in the human health and social work sector: Better understanding the risk factors to better prevent them—France*. <https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2022/troubles-musculo-squelettiques-dans-le-secteur-de-la-sante-humaine-et-de-l-action-sociale-mieux-connaître-les-facteurs-de-risque-pour-mieux-les-p>
- Fridenson, P. (2006). 1. Les transformations des pratiques de subordination dans les entreprises et l'évolution du tissu productif en France. In *Les nouvelles frontières du travail subordonné* (pp. 21–46). La Découverte. <https://doi.org/10.3917/dec.theve.2006.01.0021>
- Gadrey, J. (2005). Un demi-siècle de montée des services: La révolution permanente. *Le Mouvement Social*, 211(2), 21–36. <https://doi.org/10.3917/lms.211.0021>
- Gallagher, S., & Heberger, J. R. (2013). Examining the interaction of force and repetition on musculoskeletal disorder risk: A systematic literature review. *Human Factors*, 55(1), 108–124. <https://doi.org/10.1177/0018720812449648>
- GBD. (2017). *Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017)—Nonfatal Health Outcomes 9 | GHDx*. <https://ghdx.healthdata.org/gbd-2017/code/nonfatal-9>
- GBD 2016 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. (2017). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990–2016: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet (London, England)*, 390(10100), 1211–1259. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32154-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32154-2)
- GBD 2017 DALYs and HALE Collaborators. (2018). Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 359 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 195 countries and territories, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet (London, England)*, 392(10159), 1859–1922. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32335-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32335-3)
- Gelman, A., Carlin, J. B., & Stern, H. S. (2021). *Bayesian Data Analysis*. <http://www.stat.columbia.edu/~gelman/book/>
- Gerr, F. (2008). Surveillance of work-related musculoskeletal disorders. *Occupational and Environmental Medicine*, 65(5), 298–299. <https://doi.org/10.1136/oem.2007.037515>
- Gheno, R., Cepparo, J. M., Rosca, C. E., & Cotten, A. (2012). Musculoskeletal Disorders in the Elderly. *Journal of Clinical Imaging Science*, 2, 39. <https://doi.org/10.4103/2156-7514.99151>
- Goldberg, M. (2013). *Constances: « Un laboratoire épidémiologique ouvert »*. *Magasin du travail&sécurité* – n° 739 –.



- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Grissa, O., Manita, M., Hayouni, M., Rassas, I., Amri, C., Chaari, N., Henchi, A., Akrouf, M., Boussarsar, I., & Merchaoui, I. (2021). P-165 National epidemiologic profile of upper limb musculoskeletal disorders in the Tunisian workforce and predictions for 2026. *Occupational and Environmental Medicine*, 78(Suppl 1), A80–A80. <https://doi.org/10.1136/OEM-2021-EPI.215>
- Guido, D., Leonardi, M., Mellor-Marsá, B., Moneta, M. V., Sanchez-Niubo, A., Tyrovolas, S., Giné-Vázquez, I., Haro, J. M., Chatterji, S., Bobak, M., Ayuso-Mateos, J. L., Arndt, H., Koupil, I., Bickenbach, J., Koskinen, S., Tobiasz-Adamczyk, B., Panagiotakos, D., & Raggi, A. (2020). Pain rates in general population for the period 1991–2015 and 10-years prediction: Results from a multi-continent age-period-cohort analysis. *The Journal of Headache and Pain*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s10194-020-01108-3>
- Guillemin, M. P. (2021). New Avenues for Prevention of Work-Related Diseases Linked to Psychosocial Risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11354. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111354>
- Guillet, A., & Santoro, C. (2021). Division sexuelle du travail et domination sociale: Retour sur quelques idées reçues. *Mouvements*, 106(2), 153–161. <https://doi.org/10.3917/mouv.106.0153>
- HA, C., Fouquet, N., Roquelaure, Y., Raimbeau, G., Leclerc, A., Goldberg, M., & Imbernon, E. (2010). *Syndrome du canal carpien. Estimations de l'incidence, de la prévalence et du poids de l'activité professionnelle dans sa survenue dans les Pays de la Loire, France, 2002-2004. Numéro thématique—TMS d'origine professionnelle. Une préoccupation majeure.* <https://www.santepubliquefrance.fr/pays-de-la-loire/syndrome-du-canal-carpien.-estimations-de-l-incidence-de-la-prevalence-et-du-poids-de-l-activite-professionnelle-dans-sa-survenue-dans-les-pays-de>
- Hakim, A. J., Cherkas, L., El Zayat, S., MacGregor, A. J., & Spector, T. D. (2002). The genetic contribution to carpal tunnel syndrome in women: A twin study. *Arthritis and Rheumatism*, 47(3), 275–279. <https://doi.org/10.1002/art.10395>
- Hamra, G., MacLehose, R., & Richardson, D. (2013). Markov Chain Monte Carlo: An introduction for epidemiologists. *International Journal of Epidemiology*, 42(2), 627–634. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt043>
- Harasty C., O. M. (2020). *Population Ageing: Alternative measures of dependency and implications for the future of work* [Working paper]. [https://www.ilo.org/global/publications/working-papers/WCMS\\_747257/lang--en/index.htm](https://www.ilo.org/global/publications/working-papers/WCMS_747257/lang--en/index.htm)
- Harcombe, H., McBride, D., Derrett, S., & Gray, A. (2010). Physical and psychosocial risk factors for musculoskeletal disorders in New Zealand nurses, postal workers and office workers. *Injury Prevention*, 16(2), 96–100. <https://doi.org/10.1136/ip.2009.021766>

- Hassard, J., Teoh, K. R. H., Visockaite, G., Dewe, P., & Cox, T. (2018). The cost of work-related stress to society: A systematic review. *Journal of Occupational Health Psychology, 23*, 1–17. <https://doi.org/10.1037/ocp0000069>
- Hastie, T. J. (2017). Generalized Additive Models. In *Statistical Models in S* (pp. 249–307). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203738535-7>
- Hatzfeld, N. (2006). Ergonomie, productivité et usure au travail. Une décennie de débats d'atelier à Peugeot-Sochaux (1995 – 2005). *Actes de la recherche en sciences sociales, 165*(5), 92–105. <https://doi.org/10.3917/arss.165.0092>
- Head, J., Ferrie, J. E., Alexanderson, K., Westerlund, H., Vahtera, J., & Kivimäki, M. (2008). Diagnosis-specific sickness absence as a predictor of mortality: The Whitehall II prospective cohort study. *BMJ, 337*, a1469. <https://doi.org/10.1136/bmj.a1469>
- Henny, J., Nadif, R., Got, S. L., Lemonnier, S., Ozguler, A., Ruiz, F., Beaumont, K., Brault, D., Sandt, E., Goldberg, M., & Zins, M. (2020). The CONSTANCES Cohort Biobank: An Open Tool for Research in Epidemiology and Prevention of Diseases. *Frontiers in Public Health, 8*, 605133. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.605133>
- Hessel, F. (2008). Burden of Disease. In W. Kirch (Ed.), *Encyclopedia of Public Health* (pp. 94–96). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5614-7\\_297](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5614-7_297)
- Holford, T. R. (1991). Understanding the effects of age, period, and cohort on incidence and mortality rates. *Annual Review of Public Health, 12*. <https://doi.org/10.1146/annurev.pu.12.050191.002233>
- Hoy, D., Geere, J.-A., Davatchi, F., Meggitt, B., & Barrero, L. H. (2014). A time for action: Opportunities for preventing the growing burden and disability from musculoskeletal conditions in low- and middle-income countries. *Best Practice & Research. Clinical Rheumatology, 28*(3), 377–393. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2014.07.006>
- Hozé, N., Paireau, J., Lapidus, N., Kiem, C. T., Salje, H., Severi, G., Touvier, M., Zins, M., Lamballerie, X. de, Lévy-Bruhl, D., Carrat, F., & Cauchemez, S. (2021). Monitoring the proportion of the population infected by SARS-CoV-2 using age-stratified hospitalisation and serological data: A modelling study. *The Lancet Public Health, 6*(6), e408–e415. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00064-5](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00064-5)
- Hozé, N., Salje, H., Rousset, D., Fritzell, C., Vanhomwegen, J., Bailly, S., Najm, M., Enfissi, A., Manuguerra, J.-C., Flamand, C., & Cauchemez, S. (2020). Reconstructing Mayaro virus circulation in French Guiana shows frequent spillovers. *Nature Communications, 11*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16516-x>
- Hulshof, C. T. J., Colosio, C., Daams, J. G., Ivanov, I. D., Prakash, K. C., Kuijper, P. P. F. M., Leppink, N., Mandic-Rajcevic, S., Masci, F., van der Molen, H. F., Neupane, S., Nygård, C.-H., Oakman, J., Pega, F., Proper, K., Prüss-Üstün, A. M., Ujita, Y., & Frings-Dresen, M. H. W. (2019). WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of exposure to occupational ergonomic risk factors and of the effect of exposure to occupational ergonomic risk factors on osteoarthritis of hip or knee and selected other musculoskeletal diseases. *Environment International, 125*, 554–566. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.053>

- ICD-10 Version:2019. (n.d.). Retrieved November 2, 2022, from <https://icd.who.int/browse10/2019/en#/>
- IHME. (2019). *Osteoarthritis other—Level 4 cause*. Institute for Health Metrics and Evaluation. [https://www.healthdata.org/results/gbd\\_summaries/2019/osteoarthritis-other-level-4-cause](https://www.healthdata.org/results/gbd_summaries/2019/osteoarthritis-other-level-4-cause)
- INRS. (2015). *Troubles musculosquelettiques (TMS). Facteurs de risque—Risques*. <https://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques/facteurs-risque.html>
- Institut des politiques publiques. (2011, December 2). *Methods—Microsimulation | Institut des Politiques Publiques – IPP*. <https://www.ipp.eu/en/methods/micro-simulation/>
- International Labour Organization. (2022). *The International Standard Classification of Occupations- ISCO-08*. <https://isco-ilo.netlify.app/en/isco-08/>
- Jackman, S. (2000). Estimation and Inference via Bayesian Simulation: An Introduction to Markov Chain Monte Carlo. *American Journal of Political Science*, 44(2), 375–404. <https://doi.org/10.2307/2669318>
- Jain, R., Meena, M. L., Dangayach, G. S., & Bhardwaj, A. K. (2018). Association of risk factors with musculoskeletal disorders in manual-working farmers. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 73(1), 19–28. <https://doi.org/10.1080/19338244.2017.1289890>
- James, S. L., Abate, D., Abate, K. H., Abay, S. M., Abbafati, C., Abbasi, N., Abbastabar, H., Abd-Allah, F., Abdela, J., Abdelalim, A., Abdollahpour, I., Abdulkader, R. S., Abebe, Z., Abera, S. F., Abil, O. Z., Abraha, H. N., Abu-Raddad, L. J., Abu-Rmeileh, N. M. E., Accrombessi, M. M. K., ... Murray, C. J. L. (2018). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 392(10159), 1789–1858. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
- Jeanneau, L. (2011). *Des conditions de travail qui se dégradent*. 305(9), 59–59. <https://doi.org/10.3917/ae.305.0059>
- Jellad, A., Lajili, H., Boudokhane, S., Migaou, H., Maatallah, S., & Frih, Z. B. S. (2013). Musculoskeletal disorders among Tunisian hospital staff: Prevalence and risk factors. *The Egyptian Rheumatologist*, 35(2), 59–63. <https://doi.org/10.1016/j.ejr.2013.01.002>
- Jemine, G. (2019). L’outil face au manager: Le contrôle du travail à l’ère du numérique, un terrain controversé ? *Les Cahiers du numérique*, 15(4), 137–162.
- Jin, Z., Wang, D., Zhang, H., Liang, J., Feng, X., Zhao, J., & Sun, L. (2020). Incidence trend of five common musculoskeletal disorders from 1990 to 2017 at the global, regional and national level: Results from the global burden of disease study 2017. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 79(8), 1014–1022. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2020-217050>

- Johanning, E., Stillo, M., & Landsbergis, P. (2020). Powered-hand tools and vibration-related disorders in US-railway maintenance-of-way workers. *Industrial Health*, 58(6), 539–553. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2020-0133>
- Jung, J. U. (2018). System Dynamics Approach to Epidemic Compartment Model: Translating SEIR Model for MERS Transmission in South Korea. *Journal of Digital Convergence*, 16(7), 259–265. <https://doi.org/10.14400/JDC.2018.16.7.259>
- Kaka, B., Idowu, O. A., Fawole, H. O., Adeniyi, A. F., Ogwumike, O. O., & Toryila, M. T. (2016). An Analysis of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Butchers in Kano Metropolis, Nigeria. *Safety and Health at Work*, 7(3), 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.01.001>
- Karasek, R. A. (1979). Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign. *Administrative Science Quarterly*, 24(2), 285–308. <https://doi.org/10.2307/2392498>
- Kergoat, D. (2010). Le rapport social de sexe de la reproduction des rapports sociaux à leur subversion. In *Les rapports sociaux de sexe* (pp. 60–75). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.colle.2010.01.0060>
- Kergoat, D. (2018). 19—Le travail, un concept central pour les études de genre ? In *Je travaille, donc je suis* (pp. 248–254). La Découverte. <https://doi.org/10.3917/dec.maru.2018.01.0248>
- Kermack, W. O., McKendrick, A. G., & Walker, G. T. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 115(772), 700–721. <https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0118>
- Kesikburun, S., Güzelküçük, Ü., Fidan, U., Demir, Y., Ergün, A., & Tan, A. K. (2018). Musculoskeletal pain and symptoms in pregnancy: A descriptive study. *Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease*, 10(12), 229–234. <https://doi.org/10.1177/1759720X18812449>
- Kim, Y. S., Rhee, K. Y., Oh, M. J., & Park, J. (2013). The Validity and Reliability of the Second Korean Working Conditions Survey. *Safety and Health at Work*, 4(2), 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2013.05.001>
- Komlosy, A. (2012). Les conditions de travail de 1800 à 2000: Configurations globales et développement inégal dans le textile. *Le Mouvement Social*, 241(4), 167–183. <https://doi.org/10.3917/lms.241.0167>
- Kotowski, S. E., Davis, K. G., Kim, H., & Lee, K.-S. (2014). Identifying risk factors of musculoskeletal disorders on Korean farms. *Work*, 49(1), 15–23. <https://doi.org/10.3233/WOR-141921>
- Krijkamp, E. M., Alarid-Escudero, F., Enns, E. A., Jalal, H. J., Hunink, M. G. M., & Pechlivanoglou, P. (2018). Microsimulation Modeling for Health Decision Sciences Using R: A Tutorial. *Medical Decision Making: An International Journal of the Society for Medical Decision Making*, 38(3), 400–422. <https://doi.org/10.1177/0272989X18754513>

- Kyomuhangi, I., & Giorgi, E. (2022). A unified and flexible modelling framework for the analysis of malaria serology data. *International Journal of Infectious Diseases*, 116, S110. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.12.259>
- Laffont, I. (2015). *Etude de la prévalence des troubles musculo-squelettiques et de la gestion des approvisionnements et évacuations de déchets de chantier dans les très petites entreprises du bâtiment* [Limoges]. <http://aurore.unilim.fr/ori-oai-search/notice/view/unilim-ori-45205>
- Lee, C.-S. (2005). International Migration, Deindustrialization and Union Decline in 16 Affluent OECD Countries, 1962–1997. *Social Forces*, 84(1), 71–88. <https://doi.org/10.1353/sof.2005.0109>
- Lee, J., Sim, B., Ju, B., Lee, C. G., Park, K.-S., Kim, M.-J., Kim, J. H., Kim, K., & Song, H. (2022). Population attributable fraction of indicators for musculoskeletal diseases: A cross-sectional study of fishers in Korea. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 34, e23. <https://doi.org/10.35371/aoem.2022.34.e23>
- Lefebvre, M. (2021, September 30). Hors-série « Le Monde »: La société du travail ou le spectre de l'ubérisation. *Le Monde.fr*. [https://www.lemonde.fr/emploi/article/2021/09/30/hors-serie-le-monde-la-societe-du-travail-ou-le-spectre-de-l-uberisation\\_6096538\\_1698637.html](https://www.lemonde.fr/emploi/article/2021/09/30/hors-serie-le-monde-la-societe-du-travail-ou-le-spectre-de-l-uberisation_6096538_1698637.html)
- Legendre, F. (2004). Micro-simulation et évaluation des politiques économiques et sociale: Un panorama des développements récents en France. *Revue d'économie politique*, 114(1), 17–53. <https://doi.org/10.3917/rep.141.0017>
- Légeron, P. (2008). Le stress professionnel. *L'information psychiatrique*, 84(9), 809–820. <https://doi.org/10.3917/inpsy.8409.0809>
- Leino, P. (1989). Symptoms of stress predict musculoskeletal disorders. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 43(3), 293–300. <https://doi.org/10.1136/jech.43.3.293>
- Leino-Arjas, P. (1998). Smoking and musculoskeletal disorders in the metal industry: A prospective study. *Occupational and Environmental Medicine*, 55(12), 828–833.
- Lengagne, P. (2017). Inciter les entreprises à améliorer la santé au travail. La tarification à l'expérience dans les systèmes d'assurance des risques professionnels. *Regards*, 51(1), 51–61. <https://doi.org/10.3917/regar.051.0051>
- Leon, L., Kasereka, S., Barin, F., Larsen, C., Weill-Barillet, L., Pascal, X., Chevaliez, S., Pillonel, J., Jauffret-Roustide, M., & LE Strat, Y. (2017). Age- and time-dependent prevalence and incidence of hepatitis C virus infection in drug users in France, 2004–2011: Model-based estimation from two national cross-sectional serosurveys. *Epidemiology and Infection*, 145(5), 895–907. <https://doi.org/10.1017/S0950268816002934>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care

- interventions: Explanation and elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Lipscomb, J., Trinkoff, A., Brady, B., & Geiger-Brown, J. (2004). Health Care System Changes and Reported Musculoskeletal Disorders Among Registered Nurses. *American Journal of Public Health*, 94(8), 1431–1435. <https://doi.org/10.2105/AJPH.94.8.1431>
- Livian, Y.-F. (2008). 13. Organisation et nouvelles technologies. In *Organisation: Vol. 4e éd.* (pp. 210–229). Dunod. <https://www.cairn.info/organisation--9782100519637-p-210.htm>
- Loriol, M. (2010). Agir contre le stress et les risques psychosociaux au travail. *Regards sur l'actualité : mensuel de la vie publique en France*, 363, 52.
- Lyonnet, B. (2015). Chapitre 2. Le juste-à-temps et la gestion des stocks. In *Lean Management* (pp. 25–48). Dunod. <https://www.cairn.info/lean-management--9782100720804-p-25.htm>
- Maestas, N., Mullen, K. J., Powell, D., von Wachter, T., & Wenger, J. B. (2017). *The American Working Conditions Survey Data: Codebook and Data Description*. RAND Corporation. <https://www.rand.org/pubs/tools/TL269.html>
- Masson, E. (2003). *Intérêt et limites des bases de données médico-administratives: L'exemple de la cardiologie médicale à l'AP-HP*. EM-Consulte. <https://www.em-consulte.com/article/19021/interet-et-limites-des-bases-de-donnees-medico-adm>
- Matsugaki, R., Ishimaru, T., Hino, A., Muramatsu, K., Nagata, T., Ikegami, K., Tateishi, S., Tsuji, M., Matsuda, S., Fujino, Y., & Project, Cor. (2022). Low back pain and telecommuting in Japan: Influence of work environment quality. *Journal of Occupational Health*, 64(1), e12329. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12329>
- McDonald, E. L., Bailie, R. S., & Morris, P. S. (2017). Participatory systems approach to health improvement in Australian Aboriginal children. *Health Promotion International*, 32(1), 62–72. <https://doi.org/10.1093/heapro/dau003>
- Medicine, N. R. C. and I. of. (2001). *Musculoskeletal Disorders and the Workplace: Low Back and Upper Extremities*. <https://doi.org/10.17226/10032>
- Mercier, J. (1990). L'illusion informaticienne. *Canadian Journal of Political Science/Revue Canadienne de Science Politique*, 23(3), 633–634. <https://doi.org/10.1017/S0008423900013305>
- Mergler, D., Brabant, C., Vézina, N., & Messing, K. (1987). The weaker sex? Men in women's working conditions report similar health symptoms. *Journal of Occupational Medicine.: Official Publication of the Industrial Medical Association*, 29(5), 417–421.
- Merz, J. (1993). *Microsimulation as an Instrument to Evaluate Economic and Social Programmes* (SSRN Scholarly Paper No. 1417318). <https://papers.ssrn.com/abstract=1417318>

- Messaoudi, D. (2018). Entreprises et territoires: Entre délocalisations et relocalisations d'activités de production. *Annales de géographie*, 723–724(5–6), 588–611. <https://doi.org/10.3917/ag.723.0588>
- Messing, K., Chatigny, C., & Courville, J. (1998). “Light” and “heavy” work in the housekeeping service of a hospital. *Applied Ergonomics*, 29, 451–459. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(98\)00013-1](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(98)00013-1)
- Minetto, M. A., Giannini, A., McConnell, R., Busso, C., Torre, G., & Massazza, G. (2020). Common Musculoskeletal Disorders in the Elderly: The Star Triad. *Journal of Clinical Medicine*, 9(4), 1216. <https://doi.org/10.3390/jcm9041216>
- Miranda, H., Punnett, L., Viikari-Juntura, E., Heliövaara, M., & Knekt, P. (2008). Physical work and chronic shoulder disorder. Results of a prospective population-based study. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 67(2), 218–223. <https://doi.org/10.1136/ard.2007.069419>
- M’Kendrick, A. G. (1925). Applications of Mathematics to Medical Problems. *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, 44, 98–130. <https://doi.org/10.1017/S0013091500034428>
- Morken, T., Riise, T., Moen, B., Hauge, S. H. V., Holien, S., Langedrag, A., Pedersen, S., Saue, I. L. L., Seljebø, G. M., & Thoppil, V. (2003). Low back pain and widespread pain predict sickness absence among industrial workers. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 4, 21. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-4-21>
- Mushayi, K., Muteti, S., Chikwanha, T. M., & January, J. (2014). Work related musculoskeletal disorders among farm workers: A case study of an agricultural college in Zimbabwe. *Central African Journal of Medicine*, 60(9–12), Article 9–12. <https://doi.org/10.4314/cajm.v60i9-12>
- Nambiema, A. (2020). *Potential impact of prevention intervention of musculoskeletal disorders (MSD) at the population level: Scenarios for reduced exposure to risk factors for MSD* [Phdthesis, Université d’Angers (UA), Angers, FRA.]. <https://hal.univ-angers.fr/tel-03127397>
- Nambiema, A., Bertrais, S., Bodin, J., Fouquet, N., Aublet-Cuvelier, A., Evanoff, B., Descatha, A., & Roquelaure, Y. (2020). Proportion of upper extremity musculoskeletal disorders attributable to personal and occupational factors: Results from the French Pays de la Loire study. *BMC Public Health*, 20(1), 456. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08548-1>
- National Academies of Sciences, E., Division, H. and M., Services, B. on H. C., & Treatment, C. on I. D. M. C. L. to I. with. (2020). Musculoskeletal Disorders. In *Selected Health Conditions and Likelihood of Improvement with Treatment*. National Academies Press (US). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559512/>
- National Center for Health Statistics. (2022, August 31). *Life Expectancy in the U.S. Dropped for the Second Year in a Row in 2021*. [https://www.cdc.gov/nchs/pressroom/nchs\\_press\\_releases/2022/20220831.htm](https://www.cdc.gov/nchs/pressroom/nchs_press_releases/2022/20220831.htm)

- National Research Council (US) and Institute of Medicine (US) Panel on Musculoskeletal Disorders and the Workplace. (2001a). *Musculoskeletal Disorders and the Workplace: Low Back and Upper Extremities*. National Academies Press (US). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222440/>
- National Research Council (US) and Institute of Medicine (US) Panel on Musculoskeletal Disorders and the Workplace. (2001b). *Musculoskeletal Disorders and the Workplace: Low Back and Upper Extremities*. National Academies Press (US). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222440/>
- Ngunde, P. J., Elb, K., Théophile, N. C., Mokake, N. D. M., Eta, A. V., Bassa, N. E., Malika, E., Udoamaka, G. N., Kemayim, F., & Pius, F. (2020). Prevalence, risk factors and effects of work related musculoskeletal disorders on nurses in Fako division, Cameroon. *Revue de Médecine et de Pharmacie*, *10*(2), Article 2.
- Nicoletti, S., & Battevi, N. (2008). [Upper-limb work-related musculoskeletal disorders (UL-WMSDs) and latency of effect]. *La Medicina Del Lavoro*, *99*(5), 352–361.
- Nicot, A.-M. (2019). Les enjeux du travail dans l'économie des plateformes. *Regards*, *55*(1), 53–63. <https://doi.org/10.3917/regar.055.0053>
- Niedhammer, I., Lesuffleur, T., Memmi, S., & Chastang, J.-F. (2017). Working conditions in the explanation of occupational inequalities in sickness absence in the French SUMER study. *European Journal of Public Health*, *27*(6), 1061–1068. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckx052>
- NIOSH | CDC. (2021, May 28). *Musculoskeletal Health Program: Description*. <https://www.cdc.gov/niosh/programs/msd/description.html>
- Northridge, M. E. (1995). Public health methods—Attributable risk as a link between causality and public health action. *American Journal of Public Health*, *85*(9), 1202–1204.
- OECD. (2021). *Telework before the COVID-19 pandemic: Trends and drivers of differences across the EU | en* | <https://www.oecd.org/sti/telework-before-the-covid-19-pandemic-d5e42dd1-en.htm>
- Oliveira, G. A. D. de, Bernardes, J. M., Santos, E. de S., & Dias, A. (2019). Carpal tunnel syndrome during the third trimester of pregnancy: Prevalence and risk factors. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, *300*(3), 623–631. <https://doi.org/10.1007/s00404-019-05233-6>
- Oppermann, U. (2013). Why is epigenetics important in understanding the pathogenesis of inflammatory musculoskeletal diseases? *Arthritis Research & Therapy*, *15*(2), 209. <https://doi.org/10.1186/ar4186>
- Parienty, A. (2005, July 1). *L'organisation du travail a-t-elle vraiment changé ? Alternatives Economiques*. <https://www.alternatives-economiques.fr/lorganisation-travail-a-t-vraiment-change/00031256>
- Peek-Asa, C., Zwerling, C., & Stallones, L. (2004). Acute Traumatic Injuries in Rural Populations. *American Journal of Public Health*, *94*(10), 1689–1693.



- Pega, F., Norris, S. L., Backes, C., Bero, L. A., Descatha, A., Gagliardi, D., Godderis, L., Loney, T., Modenese, A., Morgan, R. L., Pachito, D., Paulo, M. B. S., Scheepers, P. T. J., Schlünssen, V., Sgargi, D., Silbergeld, E. K., Sørensen, K., Sutton, P., Tenkate, T., ... Mandrioli, D. (2020). RoB-SPEO: A tool for assessing risk of bias in studies estimating the prevalence of exposure to occupational risk factors from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environment International*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105039>
- Pejtersen, J. H., Kristensen, T. S., Borg, V., & Bjorner, J. B. (2010). The second version of the Copenhagen Psychosocial Questionnaire. *Scandinavian Journal of Public Health*, 38(3 Suppl), 8–24. <https://doi.org/10.1177/1403494809349858>
- Pujol, M. (1993). *Pathologie professionnelle d'hypersollicitation: Atteinte périarticulaire du membre supérieur*.
- Punnett, L., & Wegman, D. H. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.015>
- Putrik, P., Ramiro, S., Chorus, A. M., Keszei, A. P., & Boonen, A. (2015). Socioeconomic inequities in perceived health among patients with musculoskeletal disorders compared with other chronic disorders: Results from a cross-sectional Dutch study. *RMD Open*, 1(1), e000045. <https://doi.org/10.1136/rmdopen-2014-000045>
- Ramoni, M., & Sebastiani, P. (1998). Parameter estimation in bayesian networks from incomplete databases. *Intelligent Data Analysis*, 2(1), 139–160. [https://doi.org/10.1016/S1088-467X\(98\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S1088-467X(98)00018-3)
- Reinhold, K., Pille, V., Tuulik, V.-R., Tuulik, V., & Tint, P. (2014). Prevention of MSDs and psychological stress at computer-equipped workplaces. *Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud*, 46(3), 221–226.
- Report of a WHO Scientific Group. (2003). *The burden of musculoskeletal conditions at the start of the new millenium*. [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42721/WHO\\_TRS\\_919.pdf;jsessionid=D00C30C4A569458754AD14CC3E3A0D8D?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42721/WHO_TRS_919.pdf;jsessionid=D00C30C4A569458754AD14CC3E3A0D8D?sequence=1)
- Roquelaure, Y. (2017). *Préparation à la conférence sur les conditions de travail—Note de problématique sur les troubles musculo-squelettiques (TMS)*.
- Roquelaure, Y. (2018a). *Musculoskeletal disorders and psychosocial factors at work [Internet]*. (Brussels: European Trade Union Institute (ETUI); 2018 p. 82. Report No.: 142.). <https://www.etui.org/sites/default/files/EN-Report-142-MSD-Roquelaure-WEB.pdf>
- Roquelaure, Y. (2018b). *Troubles musculo-squelettiques et facteurs psychosociaux au travail*.
- Roquelaure, Y., Bodin, J., Ha, C., Petit Le Manac'h, A., Descatha, A., Chastang, J.-F., Leclerc, A., Goldberg, M., & Imbernon, E. (2011). Personal, biomechanical, and psychosocial risk factors for rotator cuff syndrome in a working population. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 37(6), 502–511. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3179>

- Roser, M., & Rodés-Guirao, L. (2013). Future Population Growth. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/future-population-growth>
- Rowthorn, R., & Ramaswamy, R. (1999). Growth, Trade, and Deindustrialization. *IMF Staff Papers*, 46(1), 18–41. <https://doi.org/10.2307/3867633>
- Rubin, D. M., Achari, S., Carlson, C. S., Letts, R., Pantanowitz, A., Postema, M., Richards, X., & Wigdorowitz, B. (2021). Facilitating understanding, modeling and simulation of infectious disease epidemics in the age of COVID-19. *Frontiers in Public Health*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.593417>
- Rutter, C. M., Zaslavsky, A. M., & Feuer, E. J. (2011). Dynamic microsimulation models for health outcomes: A review. *Medical Decision Making: An International Journal of the Society for Medical Decision Making*, 31(1), 10–18. <https://doi.org/10.1177/0272989X10369005>
- Saeger, S. S. (1997). Globalization and deindustrialization: Myth and reality in the OECD. *Review of World Economics*, 133(4), 579–608. <https://doi.org/10.1007/BF02707404>
- Safety and health at work EU-OSHA. (2019). *Work-related musculoskeletal disorders: Prevalence, costs and demographics in the EU*. <https://osha.europa.eu/en/publications/msds-facts-and-figures-overview-prevalence-costs-and-demographics-msds-europe>
- Safiri, S., Kolahi, A.-A., Cross, M., Hill, C., Smith, E., Carson-Chahhoud, K., Mansournia, M. A., Almasi-Hashiani, A., Ashrafi-Asgarabad, A., Kaufman, J., Sepidarkish, M., Shakouri, S. K., Hoy, D., Woolf, A. D., March, L., Collins, G., & Buchbinder, R. (2021). Prevalence, Deaths, and Disability-Adjusted Life Years Due to Musculoskeletal Disorders for 195 Countries and Territories 1990–2017. *Arthritis & Rheumatology*, 73(4), 702–714. <https://doi.org/10.1002/art.41571>
- Safiri, S., Kolahi, A.-A., Smith, E., Hill, C., Bettampadi, D., Mansournia, M. A., Hoy, D., Ashrafi-Asgarabad, A., Sepidarkish, M., Almasi-Hashiani, A., Collins, G., Kaufman, J., Qorbani, M., Moradi-Lakeh, M., Woolf, A. D., Guillemin, F., March, L., & Cross, M. (2020). Global, regional and national burden of osteoarthritis 1990-2017: A systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2017. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 79(6), 819–828. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2019-216515>
- Santé Publique France. (2010). *Encadré - L'hygroma du genou chez les salariés des Pays de la Loire en 2002-2004. Numéro thématique - TMS d'origine professionnelle: Une préoccupation majeure*. <https://www.santepubliquefrance.fr/pays-de-la-loire/encadre-l-hygroma-du-genou-chez-les-salaries-des-pays-de-la-loire-en-2002-2004.-numero-thematique-tms-d-origine-professionnelle-une-preoccupa>
- Santé Publique France. (2012). *Facteurs de risque personnels, biomécaniques, organisationnels et psychosociaux de cervicalgies dans la population des salariés des Pays de la Loire*. <https://www.santepubliquefrance.fr/pays-de-la-loire/facteurs-de-risque-personnels-biomecaniques-organisationnels-et-psychosociaux-de-cervicalgies-dans-la-population-des-salarie-s-des-pays-de-la-loire>

- Santé Publique France. (2017). *Troubles musculo-squelettiques dans le secteur de la santé humaine et de l'action sociale: Mieux connaître les facteurs de risque pour mieux les prévenir*. <https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2022/troubles-musculo-squelettiques-dans-le-secteur-de-la-sante-humaine-et-de-l-action-sociale-mieux-connaître-les-facteurs-de-risque-pour-mieux-les-p>
- Santé Publique France, PMSI. (2019). *Le syndrome du canal carpien*. <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-liees-au-travail/troubles-musculo-squelettiques/donnees/le-syndrome-du-canal-carpien>
- Sarkar, K., Dev, S., Das, T., Chakrabarty, S., & Gangopadhyay, S. (2016). Examination of postures and frequency of musculoskeletal disorders among manual workers in Calcutta, India. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 22(2), 151–158. <https://doi.org/10.1080/10773525.2016.1189682>
- Schierhout, G. H., Meyers, J. E., & Bridger, R. S. (1995). Work related musculoskeletal disorders and ergonomic stressors in the South African workforce. *Occupational and Environmental Medicine*, 52(1), 46–50.
- Schneider, G. A., Bigelow, C., & Amoroso, P. J. (2000). Evaluating risk of re-injury among 1214 army airborne soldiers using a stratified survival model. *American Journal of Preventive Medicine*, 18(3 Suppl), 156–163. [https://doi.org/10.1016/s0749-3797\(99\)00177-4](https://doi.org/10.1016/s0749-3797(99)00177-4)
- Schneider, S., & Susi, P. (1994). Ergonomics and Construction: A Review of Potential Hazards in New Construction. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 55(7), 635–649. <https://doi.org/10.1080/15428119491018727>
- Schofield, D. J., Shrestha, R. N., Passey, M. E., Earnest, A., & Fletcher, S. L. (2008). Chronic disease and labour force participation among older Australians. *The Medical Journal of Australia*, 189(8), 447–450. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2008.tb02119.x>
- Sepúlveda, N., Stresman, G., White, M. T., & Drakeley, C. J. (2015). Current Mathematical Models for Analyzing Anti-Malarial Antibody Data with an Eye to Malaria Elimination and Eradication. *Journal of Immunology Research*, 2015, 738030. <https://doi.org/10.1155/2015/738030>
- Shaikh, S., Siddiqui, A. A., Alshammary, F., Amin, J., & Agwan, M. A. S. (2020). Musculoskeletal Disorders Among Healthcare Workers: Prevalence and Risk Factors in the Arab World. In I. Laher (Ed.), *Handbook of Healthcare in the Arab World* (pp. 1–39). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74365-3\\_129-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74365-3_129-1)
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Gherzi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & PRISMA-P Group. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: Elaboration and explanation. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 350, g7647. <https://doi.org/10.1136/bmj.g7647>
- Shiels, C., Gabbay, M. B., & Ford, F. M. (2004). Patient factors associated with duration of certified sickness absence and transition to long-term incapacity. *The British Journal of General Practice*, 54(499), 86–91.

- Shimizu, K. (1999). *Le Toyotisme*.
- Siegrist, J., & Li, J. (2016). Associations of Extrinsic and Intrinsic Components of Work Stress with Health: A Systematic Review of Evidence on the Effort-Reward Imbalance Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(4), 432. <https://doi.org/10.3390/ijerph13040432>
- Silva, F., & Ben Ali, A. (2010). Emergence du travail collaboratif: Nouvelles Formes d'Organisation du Travail. *Management & Avenir*, 36(6), 340–365. <https://doi.org/10.3917/mav.036.0340>
- Silverstein, B. A., Fine, L. J., & Armstrong, T. J. (1986). Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43(11), 779–784. <https://doi.org/10.1136/oem.43.11.779>
- Silverstein, B. A., Stetson, D. S., Keyserling, W. M., & Fine, L. J. (1997). Work-related musculoskeletal disorders: Comparison of data sources for surveillance. *American Journal of Industrial Medicine*, 31(5), 600–608. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199705\)31:5<600::AID-AJIM15>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199705)31:5<600::AID-AJIM15>3.0.CO;2-2)
- Silverstein, M. (2008). Meeting the challenges of an aging workforce. *American Journal of Industrial Medicine*, 51(4), 269–280. <https://doi.org/10.1002/ajim.20569>
- Sivertsen, H., Lillefjell, M., & Espnes, G. A. (2013). The relationship between health promoting resources and work participation in a sample reporting musculoskeletal pain from the Nord-Trøndelag Health Study, HUNT 3, Norway. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 14, 100. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-100>
- Smedley, J., Egger, P., Cooper, C., & Coggon, D. (1997). *Prospective cohort study of predictors of incident low back pain in nurses | The BMJ*. <https://www.bmj.com.proxybib-pp.cnam.fr/content/314/7089/1225.short>
- Smith, E., Hoy, D. G., Cross, M., Vos, T., Naghavi, M., Buchbinder, R., Woolf, A. D., & March, L. (2014). The global burden of other musculoskeletal disorders: Estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 73(8), 1462–1469. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2013-204680>
- Spall, J. C. (2003). Estimation via Markov chain Monte Carlo. *IEEE Control Systems Magazine*, 23(2), 34–45. <https://doi.org/10.1109/MCS.2003.1188770>
- Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. P., & van der Linde, A. (2014). The deviance information criterion: 12 years on. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 76(3), 485–493. <https://doi.org/10.1111/rssb.12062>
- Starovoytova, D. (2017). *Hazards and Risks at Rotary Screen Printing (Part 1/6): Survey on Musculoskeletal Disorders*. 7.
- Steenstra, I. A., Munhall, C., Irvin, E., Oranye, N., Passmore, S., Van Eerd, D., Mahood, Q., & Hogg-Johnson, S. (2017). Systematic Review of Prognostic Factors for Return to Work in Workers with Sub Acute and Chronic Low Back Pain. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 27(3), 369–381. <https://doi.org/10.1007/s10926-016-9666-x>

- Stock, S., Nicolakakis, N., Raïq, H., Messing, K., Lippel, K., & Turcot, A. (2014). Underreporting Work Absences for Nontraumatic Work-Related Musculoskeletal Disorders to Workers' Compensation: Results of a 2007–2008 Survey of the Québec Working Population. *American Journal of Public Health, 104*(3), e94–e101. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2013.301562>
- Suka, M., & Yoshida, K. (2009). The National Burden of Musculoskeletal Pain in Japan: Projections to the Year 2055. *The Clinical Journal of Pain, 25*(4), 313–319. <https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e31818c00c5>
- Sultan-Taïeb, H., Lejeune, C., Drummond, A., & Niedhammer, I. (2011). Fractions of cardiovascular diseases, mental disorders, and musculoskeletal disorders attributable to job strain. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 84*(8), 911–925. <https://doi.org/10.1007/s00420-011-0633-8>
- Sultan-Taïeb, H., & Niedhammer, I. (2012). Le poids imputable à l'exposition au stress au travail en termes économiques et de santé publique: Enjeux et écueils méthodologiques. *Travail et emploi, 129*(1), 35–49. <https://doi.org/10.4000/travailemploi.5534>
- Szekanecz, Z., McInnes, I. B., Schett, G., Szamosi, S., Benkő, S., & Szűcs, G. (2021). Autoinflammation and autoimmunity across rheumatic and musculoskeletal diseases. *Nature Reviews Rheumatology, 17*(10), Article 10. <https://doi.org/10.1038/s41584-021-00652-9>
- Taimela, S., Läärä, E., Malmivaara, A., Tiekso, J., Sintonen, H., Justén, S., & Aro, T. (2007). Self-reported health problems and sickness absence in different age groups predominantly engaged in physical work. *Occupational and Environmental Medicine, 64*(11), 739–746. <https://doi.org/10.1136/oem.2006.027789>
- Tcaciuc, R. (2010). *Étude sur l'appréciation des facteurs de risque dans la reconnaissance du syndrome du canal carpien relié au travail* [Mémoire accepté]. Université du Québec à Montréal. <https://archipel.uqam.ca/2834/>
- The Lancet: Latest global disease estimates reveal perfect storm of rising chronic diseases and public health failures fuelling COVID-19 pandemic.* (2020, October 14). Institute for Health Metrics and Evaluation. <https://www.healthdata.org/news-release/lancet-latest-global-disease-estimates-reveal-perfect-storm-rising-chronic-diseases-and>
- Towers-Clark, C. (2019). *The Uberization Of Work: Pros And Cons Of The Gig Economy*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/charlestowersclark/2019/07/08/the-uberization-of-work-pros-and-cons-of-the-gig-economy/>
- Türkeş, M. C., & Vuță, D. R. (2022). Telework: Before and after COVID-19. *Encyclopedia, 2*(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2030092>
- Une enquête nationale sur les conditions de travail et les parcours professionnels | Insee.* (n.d.). Retrieved April 2, 2020, from <https://www.insee.fr/fr/information/3578573>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, & Population Division. (2020). *World population ageing, 2019 highlights.*

- van der Molen, H. F., Visser, S., Alfonso, J. H., Curti, S., Mattioli, S., Rempel, D., Roquelaure, Y., Kuijer, P. P. F. M., & Tamminga, S. J. (2021). Diagnostic criteria for musculoskeletal disorders for use in occupational healthcare or research: A scoping review of consensus- and synthesised-based case definitions. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 22(1), 169. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04031-z>
- Van Eerd, D., Irvin, E., Le Pouésard, M., Butt, A., & Nasir, K. (2022). Workplace Musculoskeletal Disorder Prevention Practices and Experiences. *Inquiry: A Journal of Medical Care Organization, Provision and Financing*, 59, 00469580221092132. <https://doi.org/10.1177/00469580221092132>
- van Rijn, R. M., Huisstede, B. M. A., Koes, B. W., & Burdorf, A. (2009). Associations between work-related factors and specific disorders at the elbow: A systematic literature review. *Rheumatology (Oxford, England)*, 48(5), 528–536. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kep013>
- Varianou-Mikellidou, C., Boustras, G., Dimopoulos, C., Wybo, J.-L., Guldenmund, F. W., Nicolaidou, O., & Anyfantis, I. (2019). Occupational health and safety management in the context of an ageing workforce. *Safety Science*, 116, 231–244. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.009>
- Vayre, É. (2019). Les incidences du télétravail sur le travailleur dans les domaines professionnel, familial et social. *Le travail humain*, Vol. 82(1), 1–39.
- Vézina, N., & Chatigny, C. (1996). Training in factories: A case study of knife-sharpening. *Safety Science*, 23(2–3), 195.
- vie-publique.fr. (2022). *Quels sont les grands secteurs de production: Primaire, secondaire et tertiaire ?* vie-publique.fr. <https://www.vie-publique.fr/fiches/269995-les-grands-secteurs-de-production-primaire-secondaire-et-tertiaire>
- Villa-Forte, A. (2022). Effects of Aging on the Musculoskeletal System—Bone, Joint, and Muscle Disorders. *MSD Manual Consumer Version*. <https://www.msmanuals.com/home/bone,-joint,-and-muscle-disorders/biology-of-the-musculoskeletal-system/effects-of-aging-on-the-musculoskeletal-system>
- Virtanen, P., Janlert, U., & Hammarström, A. (2011). Exposure to temporary employment and job insecurity: A longitudinal study of the health effects. *Occupational and Environmental Medicine*, 68(8), 570–574. <https://doi.org/10.1136/oem.2010.054890>
- Wang, D., Dai, F., Ning, X., Dong, R. G., & Wu, J. Z. (2017). Assessing Work-Related Risk Factors on Low Back Disorders among Roofing Workers. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(7), 04017026. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001320](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001320)
- Wearing, S. C., Hennig, E. M., Byrne, N. M., Steele, J. R., & Hills, A. P. (2006). Musculoskeletal disorders associated with obesity: A biomechanical perspective. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 7(3), 239–250. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2006.00251.x>

- WHO. (2021a). *GHE: Life expectancy and healthy life expectancy*. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-life-expectancy-and-healthy-life-expectancy>
- WHO. (2021b). *Musculoskeletal health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- WHO. (2022). *Healthy life expectancy in Africa rises by almost ten years*. WHO | Regional Office for Africa. <https://www.afro.who.int/news/healthy-life-expectancy-africa-rises-almost-ten-years>
- Winslow Taylor, F. (1911). *The Principles of Scientific Management*.
- Winston, N. A., & Barnes, J. (2007). Anticipation of Retirement Among Baby Boomers. *Journal of Women & Aging*, 19(3–4), 137–159. [https://doi.org/10.1300/J074v19n03\\_10](https://doi.org/10.1300/J074v19n03_10)
- Wong, W. K., Li, M. Y., Yung, P. S.-H., & Leong, H. T. (2020). The effect of psychological factors on pain, function and quality of life in patients with rotator cuff tendinopathy: A systematic review. *Musculoskeletal Science and Practice*, 47, 102173. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2020.102173>
- Woodruff, T. J., & Sutton, P. (2014). The Navigation Guide systematic review methodology: A rigorous and transparent method for translating environmental health science into better health outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 122(10), 1007–1014. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307175>
- Woolf, A. D., Vos, T., & March, L. (2010). How to measure the impact of musculoskeletal conditions. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 24(6), 723–732. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2010.11.002>
- World Health Organization. (2022). *Musculoskeletal health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- World Population Prospect. (2022a). *Demographic projection data from the World Population Prospect website*. <https://population.un.org/dataportal/home>
- World Population Prospect. (2022b). *UN Population Division Data Portal*. <https://population.un.org/dataportal/home>
- Yang, Y., & C. Land, K. (2013). *Age-Period-Cohort Analysis: New Models, Methods, and Empirical Applications*. <https://www.routledge.com/Age-Period-Cohort-Analysis-New-Models-Methods-and-Empirical-Applications/Yang-Land/p/book/9781032477503>
- Yman, V., White, M. T., Rono, J., Arcà, B., Osier, F. H., Troye-Blomberg, M., Boström, S., Ronca, R., Rooth, I., & Färnert, A. (2016). Antibody acquisition models: A new tool for serological surveillance of malaria transmission intensity. *Scientific Reports*, 6, 19472. <https://doi.org/10.1038/srep19472>
- Yu, D., Jordan, K. P., Bedson, J., Englund, M., Blyth, F., Turkiewicz, A., Prieto-Alhambra, D., & Peat, G. (2017). Population trends in the incidence and initial management of

osteoarthritis: Age-period-cohort analysis of the Clinical Practice Research Datalink, 1992–2013. *Rheumatology (Oxford, England)*, 56(11), 1902–1917. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kex270>

Zins, M., Bonenfant, S., Carton, M., Coeuret-Pellicer, M., Guéguen, A., Gourmelen, J., Nachtigal, M., Ozguler, A., Quesnot, A., Ribet, C., Rodrigues, G., Serrano, A., Sitta, R., Brigand, A., Henny, J., & Goldberg, M. (2010). The CONSTANCES cohort: An open epidemiological laboratory. *BMC Public Health*, 10, 479. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-479>



# **Annexes**

# Annexe 1 Extrait du rapport de 2009 du module Ad-hoc de l'enquête LFS de 2007

**TNO Quality of Life**



**TNO-report**

**031.12873/01.03**

**Health and safety at work  
Results of the Labour Force Survey 2007 ad hoc  
module on accidents at work and work-related  
health problems**

**Work and Employment**

Polarisavenue 151  
P.O. Box 718  
2130 AS Hoofddorp  
The Netherlands

[www.tno.nl/arbeid](http://www.tno.nl/arbeid)

T +31 23 554 93 93  
F +31 23 554 93 94

Date December 2009

Authors A. Venema  
S. van den Heuvel  
G. Geuskens

No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm or any other means without the previous written consent of TNO.

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of the contracting parties are subject to either the "Standard Conditions for Research Instructions given to TNO", or the relevant agreement concluded between the contracting parties.

© 2009 TNO

## 6 Results on work-related health problems

This chapter gives an overview of the results on work-related health problems of the LFS 2007 ad hoc module. Figures refer to persons aged 15 to 64 years, who were working or had been working previously. The proposed questionnaire is included in Annex A. For an explanation of the codes and classifications used, we refer to annex B. Methodological notes are given in Annex C.

### 6.1 Quality assessment

Apart from actual differences between countries, differences in the occurrence of work-related health problems could be caused by differences in the wording of the questionnaires or differences in the use of proxies (also see Chapter 4). Wording differences and the use of proxies might not only hamper the comparison between countries, but might also influence the overall EU27 on work-related health problems. As concluded in chapter 4.2.3, the main differences in the wording of the questionnaires refer to the different construction of the questionnaire used in France; the lack of an explicit reference to mental health problems in BE, DE, EE, IE, HU, NL, RO and SK. Based on the first issue, we decided to present data with and without France in this chapter in the accompanying annexes. This is explained further in chapter 6.1.2. The second issue was expected to lead to an underestimation of the number of work-related health problems in these countries. Furthermore, in these countries it might lead to a lower percentage mentioning 'stress, anxiety or depression' as the main health problem. This pattern was not found in all countries involved. Therefore we must conclude that it is not clear if and how far percentages were influenced by this different wording.

The use of proxies may have led to biased results, since proxies may represent a specific group of workers. This was not investigated further. Also, proxies may not be aware of work-related health problems of another person of the household. Therefore, an underestimation may occur. The comparison of the occurrence of work-related health problems between proxies and direct respondents showed that proxies reported health problems less often (6.8% and 11.5% - unweighted)<sup>9</sup>. This may be an indication of an underestimation of the results presented for countries with a high proportion of proxies and for the EU27 figure in general.

### 6.2 Occurrence of work-related health problems

By means of descriptive analyses, the occurrence of work-related health problems suffered during the past 12 months will be presented by country, by demographic characteristics, and by work characteristics. Furthermore, the type of work-related health problems and its consequences for sick leave and limitations in day to day activities will be described.

#### 6.2.1 *Work-related health problems in the EU27 and the participating countries*

Table 6.1 presents an overview of the data on health problems caused or made worse by work in the past 12 months in the EU27, the EU15, and for every country separately, including Norway and Croatia. In the EU27 13.5% of the respondents reported

<sup>9</sup> The analysis was based on data on proxies in the core LFS. In two countries (BE, AT), proxies answered questions of the core LFS, but not of the ad hoc module. As a consequence, the influence of proxies on the resulting data might be underestimated.



a work-related health problem. This corresponds to approximately 36 million persons. The occurrence of work-related health problems ranged from 3.2% in Ireland to 48.8% in France (Table 6.1, Figure 6.1). In total, 5.2% of the persons reported two or more work-related health problems, which corresponded to approximately 5.2 million persons.

*The high occurrence of work-related health problems in France can partly be explained by a different construction of the questions, as discussed in the wording analysis presented in Chapter 4.2. If France was not taken into account, 8.6% (instead of 13.5%) of the respondents in the EU27 without France reported a work-related health problem, which corresponds to approximately 20 million persons (Table 6.1). Besides, 2.1% (instead of 5.2%) of the persons reported two or more work-related health problems.*

Respondents were asked if the most serious work-related health problem resulted in sick leave. In the EU27, 4.8% of the persons reported sick leave for at least one day due to a work-related health problem. This corresponds to approximately 12.7 million persons. Among persons with work-related health problems in the EU27, this health problem resulted in sick leave in 42.5% of the persons. The proportion of sick leave differed substantially among countries. It ranged from 19.8% in France to 98.1% in Slovenia (Table 6.1, Figure 6.2).

*In the EU27 without France, 4.3% reported sick leave for at least one day due to the most serious work-related health problem, i.e. approximately 10.0 million persons. Among persons with work-related health problems in the EU27 without France, this health problem resulted in sick leave in 62.0% of the persons (Table 6.1).*

Sick leave for one month or more due to the most serious work-related health problem was reported by 2.0% in the EU27, corresponding to 5.5 million persons. Among the persons reporting work-related health problems in the EU27, sick leave for one month or more was reported by 24.9%. This ranged from 8.1% in France to 66.8% in The Netherlands (Table 6.1, Figure 6.3).

*In the EU27 without France, 1.87% of the respondents were off work at least one month due to their most serious work-related health problem. Among those with a work-related health problem, sick leave for one month or more was reported by 27.0% (Table 6.1).*

Respondents were also asked if the most serious work-related health problem caused or made worse the ability to carry out activities either at work or outside work. Answer categories were “No”, “Yes, to some extent” and “Yes, considerably”. Considerable limitations due to work-related health problems were reported by 3.6%, corresponding to 9.8 million persons in the EU27. Among the persons reporting work-related health problems in the EU27, 27.4% reported considerable limitations. Differences between countries were large. Among countries, the proportion of considerable limitations ranged from 7.7% in Italy to 54.9% in Latvia (Table 6.1, Figure 6.4).

*In the EU27 without France, considerable limitations due to work-related health problems were reported by 1.9%. Among the persons reporting work-related health problems in the EU27 without France, 22.3% reported considerable limitations (Table 6.1). For every question on work-related health problems (c214-c220), the percentage*

per response category in the EU27 (with and without France) is provided in Annex G (Table A-E).

Table 6.1 Work-related health problems in the past 12 months, days off work and limitations due to these health problems in the EU27, EU15, and participating countries including Croatia and Norway

	Work-related health problem(s)	Sick leave > 1 day	Sick leave > 1 month	Considerable limitations
	%	% of work-related health problems	% of work-related health problems	% of work-related health problems
EU27	13.5	42.5	18.3	27.4
EU15	10.4	49.5	24.7	28.5
EU27 without FR	8.6	62.0	27.0	22.3
EU15 without FR	7.4	62.3	29.2	22.0
BE	11.7	69.8	40.6	26.9
BG	4.9	50.6	29.1	31.2
CZ	8.5	97.7	36.7	44.9
DK	12.9	67.0	34.2	31.8
DE	6.1	74.7	22.8	13.3
EE	9.0	58.3	26.0	24.0
IE	3.2	53.9	25.1	26.4
EL	6.6	47.1	15.2	17.2
ES	5.8	72.8	46.2	29.9
FR	48.8	19.8	8.1	33.6
IT	6.9	47.3	16.8	7.7
CY	8.4	65.7	26.8	37.9
LV	4.1	63.6	46.7	54.9
LT	4.0	93.2	(33.5)	(24.7)
LU	3.8	80.1	48.5	21.5
HU	5.4	44.9	12.5	28.4
MT	4.0	47.2	u	(20.6)
NL	11.0	97.9	66.8	34.4
AT	15.0	61.3	31.3	26.0
PL	22.2	53.9	17.8	17.5
PT	7.8	41.7	21.4	48.1
RO	5.2	66.0	21.5	30.2
SI	10.2	98.1	(32.2)	47.6
SK	6.0	89.8	46.4	25.9
FI	24.4	43.0	18.7	15.9
SE	14.3	37.9	17.0	24.6
UK	5.0	62.5	31.1	31.4
HR	8.1	70.6	39.5	45.1
NO	11.7	58.4	28.1	25.3

(): limited reliability due to small sample size, u: not available or sample size below publication limit

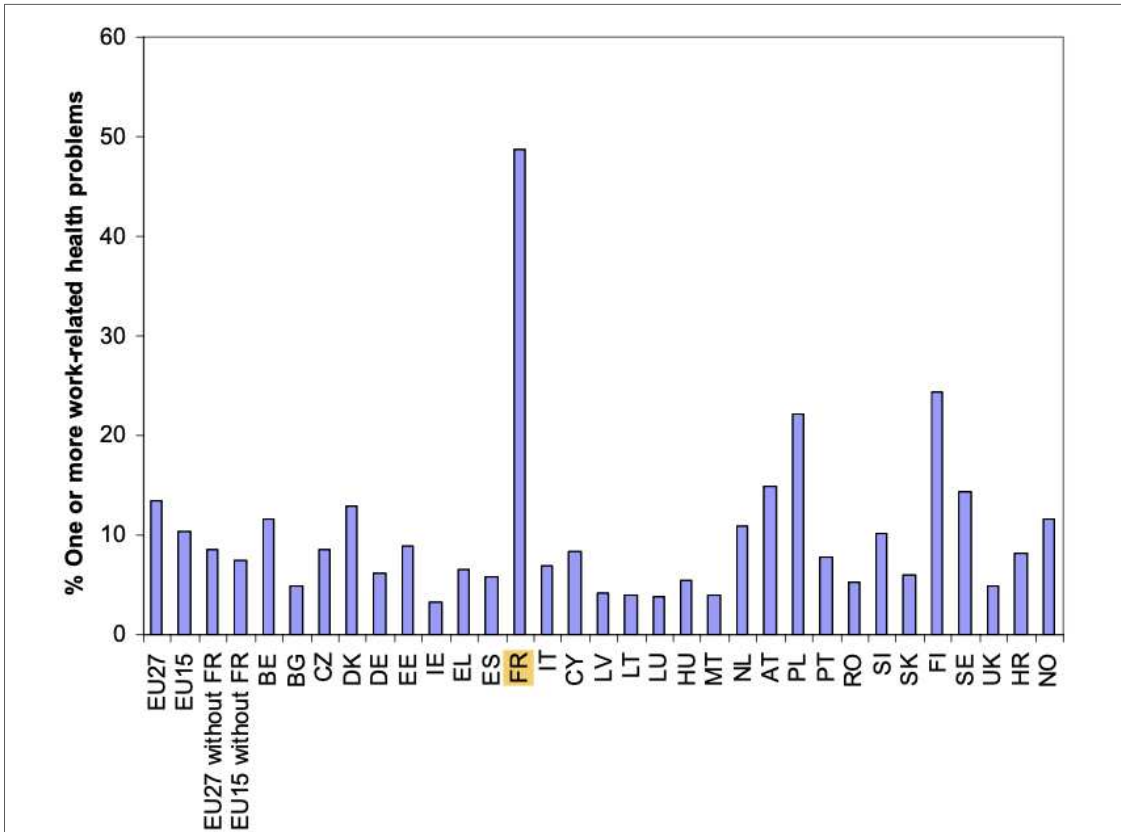


Figure 6.1 Work-related health problems in the past 12 months in the EU27, EU15 and participating countries, including Croatia and Norway

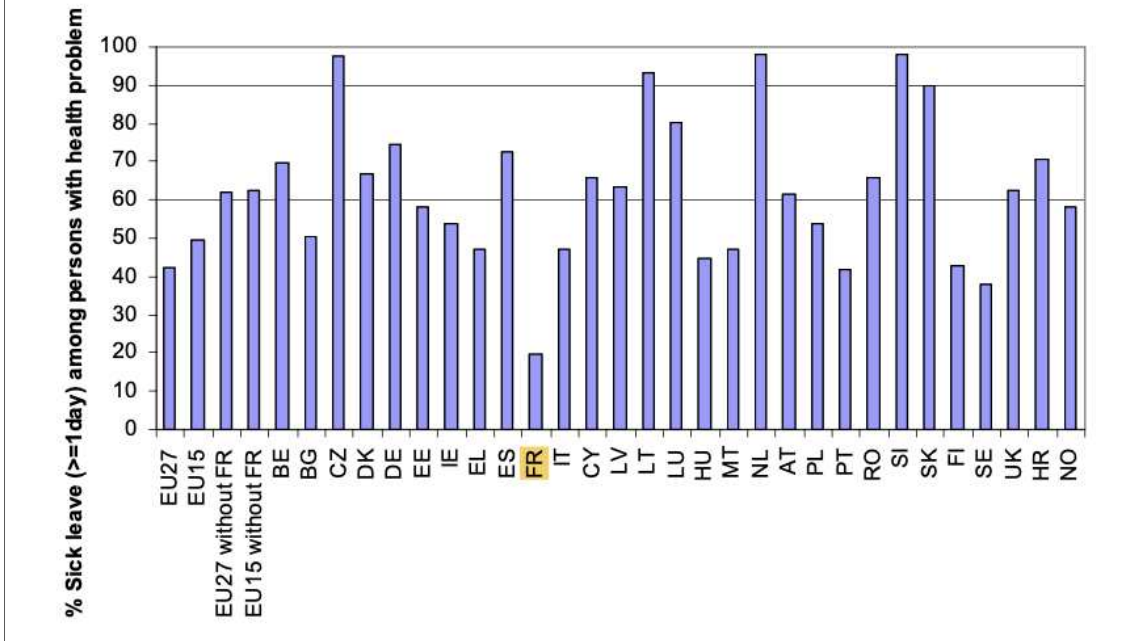


Figure 6.2 Percentage sick leave for at least one day among persons with work-related health problems in the past 12 months in the EU27, EU15 and participating countries, including Croatia and Norway

## Annexe 2 Questions sur les TMS dans le questionnaire issu module ad-hoc sur la santé et la sécurité au travail dans l'enquête LFS de 1999

Column	Code	Description	Filters/remarks
217		<i>Type of the most serious complaint caused or made worse by work</i>	Col.216 = 1-8
	0	Bone, joint or muscle problem	
	1	Breathing or lung problem	
	2	Skin problem	
	3	Hearing problem	
	4	Stress, depression or anxiety	
	5	Headache and/or eyestrain	
	6	Heart disease or attack, or other problems in the circulatory system	
	7	Infectious disease (virus, bacteria or other type of infection)	
	8	Other types of complaint	
	9	Not applicable (Col.216 = 0, 9, blank)	
	blank	No answer	
218		<i>Number of days off work due to the most serious complaint caused or made worse by work during the last 12 months</i>	Col.216 1-8
	0	Less than one day	
	1	One to three days	
	2	Four to six days	
	3	At least one week but less than two weeks	
	4	At least two weeks but less than one month	
	5	At least one month but less than three months	
	6	Three months or more	
	7	Expects never to do paid work again due to this illness	
	9	Not applicable (Col.216 =0, 9, blank)	
	blank	No answer	
219		<i>Job that caused or made worse the most serious complaint (code first that applies)</i>	Col.216= 1-8
	1	Main current (first) job	
	2	Second current job	
	3	Last job (person not in employment)	
	4	Job one year ago	
	5	Some other job	
	9	Not applicable (Col.216= 0, 9, blank)	
	blank	No answer	
220/221		<i>Economic activity of the local unit of the job that caused or made worse the most serious complaint (when not defined in another part of the survey)</i> NACE Rev.1 (2 digits)	Col.219= 5, blank or (Col.219= 3 and the person did not work within the last 8 years)
	00	Not applicable (Col.219= 1-2, 4, 9 or (Col.219= 3 and the person last worked within the last 8 years))	
	blank	No answer	

## Annexe 3 Questions sur les TMS dans le questionnaire issu du module ad-hoc sur la santé et la sécurité au travail dans l'enquête LFS de 2007

L 55/12

FR

Journal officiel de l'Union européenne

25.2.2006

Colonne	Code	Description	Filtres/remarques
213	1 2 3 4 5 9 blanc	<i>Emploi exercé au moment où la blessure accidentelle la plus récente est survenue (pour décrire la situation, utiliser le premier code qui correspond dans la liste suivante)</i> Principal (premier) emploi actuel Deuxième emploi actuel Dernier emploi (personne sans emploi) Emploi occupé un an auparavant Autre emploi Sans objet (Col. 209 = 0, 9, blanc) Sans réponse	Col. 209 = 1-2
<b>PROBLÈMES DE SANTÉ LIÉS AU TRAVAIL DONT ONT ÉTÉ VICTIMES LES PERSONNES AU COURS DES DOUZE DERNIERS MOIS (à l'exclusion des blessures accidentelles)</b>			
214	0 1 2 9 blanc	<i>Maladie(s), inaptitude(s) ou autre(s) problème(s) de santé physique(s) ou psychique(s), à l'exclusion des blessures accidentelles, dont a été victime la personne au cours des douze derniers mois (par rapport à la date de l'entretien) et causé(s) ou aggravé(s) par le travail</i> Aucun Un Deux ou plus Sans objet (Col. 24 = 3-9 ou Col. 84 ≠ 1) Sans réponse	(Col. 24 = 1, 2 ou Col. 84 = 1)
215/216	00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 99 blanc	<i>Type du problème de santé le plus grave causé ou aggravé par le travail</i> Problème osseux, musculaire ou articulaire affectant principalement le cou, les épaules, les bras ou les mains Problème osseux, musculaire ou articulaire affectant principalement les hanches, les jambes ou les pieds Problème osseux, musculaire ou d'articulation affectant principalement le dos Problème respiratoire ou pulmonaire Problème de peau Problème auditif Stress, dépression ou anxiété Mal de tête et/ou fatigue visuelle Maladie cardiaque, attaque ou autres problèmes de l'appareil circulatoire Maladie infectieuse (virus, bactérie ou autre type d'infection) Autres types de problème de santé Sans objet (Col. 214 = 0, 9, blanc) Sans réponse	Col. 214 = 1-2
217	0 1 2 9 blanc	<i>Est-ce que le problème de santé le plus grave causé ou aggravé par le travail limite la capacité à effectuer des activités quotidiennes normales soit au travail soit en dehors du travail ?</i> Non Oui, dans une certaine mesure Oui, considérablement Sans objet (Col. 214 = 0, 9, blanc) Sans réponse	Col. 214 = 1-2



## Annexe 4 Questions sur les TMS dans le questionnaire issu du module ad-hoc sur la santé et la sécurité au travail dans l'enquête LFS de 2013

WHPNUMBR	08	At least six months but less than nine months	(WSTATOR=1,2) or (WSTATOR=3-5 and EXISTPR=1)
	09	Between nine and twelve months	
	99	Not applicable (not included in the filter)	
	Blank	Unknown	
	202	<b>Work related health problems</b> <i>Physical or mental health problem(s) suffered by the person in the 12 months before the reference week that was (were) caused or made worse by work apart from the previously recorded accident(s) at work.</i>	
WHPTYPEP	0	None	WHPNUMBR=1,2
	1	One	
	2	Two or more	
	9	Not applicable (not included in the filter)	
	Blank	Unknown	
	203-204	<b>Type of work related health problem</b> <i>Type of the most serious health problem caused or made worse by work.</i>	
	00	Bone, joint or muscle problem which mainly affects neck, shoulders, arms or hands	
	01	Bone, joint or muscle problem which mainly affects hips, knees, legs or feet	
	02	Bone, joint or muscle problem which mainly affects back	
	03	Breathing or lung problem	
	04	Skin problem	
05	Hearing problem		
06	Stress, depression or anxiety		
07	Headache and/or eyestrain		
08	Heart disease or attack, or other problems in the circulatory system		
09	Infectious disease (virus, bacteria or other type of infection)		
10	Stomach, liver, kidney or digestive problem		
11	Other types of health problem		
99	Not applicable (not included in the filter)		
Blank	Unknown		
WHPLIMAB	205	<b>Health problem limiting daily activities</b> <i>Whether the most serious health problem caused or made worse by work limits the ability to carry out day to day activities either at work or outside work.</i>	WHPNUMBR=1,2
	0	No	
	1	Yes, to some extent	
	2	Yes, considerably	
	9	Not applicable (not included in the filter)	
WHPJOB	Blank	Unknown	WHPNUMBR=1,2
	206	<b>Job of health problem</b> <i>Job that caused or made worse the most serious health problem. Use the first code of the list that applies.</i>	
	1	Main current job	
	2	Second current job	
	3	Last job (for persons not in employment only)	
	4	Job one year ago	
	5	Some other job	
	9	Not applicable (not included in the filter)	
Blank	Unknown		
WHPDOFF	207-208	<b>Period off work because of health problem</b> <i>Number of calendar days in the 12 months before the</i>	WHPNUMBR=1,2

# Évaluation du fardeau des troubles musculosquelettiques à l'horizon 2035 par modélisation dynamique

## Résumé

Les troubles musculosquelettiques (TMS) sont une des principales causes de maladies professionnelles et d'incapacités dans le monde. L'objectif de cette thèse est de produire des projections du fardeau des TMS à l'horizon 2035. Nos travaux ont montré que la démographie seule ne suffisait pas à expliquer la distribution spatio-temporelle globale des TMS, il est donc important de prendre en compte l'évolution des facteurs de risques. Les modèles sérocatalytiques, usuellement utilisés pour l'étude de maladies infectieuses, ont été adaptés pour modéliser l'évolution passée des TMS et projeter les tendances temporelles jusqu'en 2035. Ces modèles ont permis de dissocier les effets des évolutions démographiques et des tendances séculaires dans les déterminants impliqués dans la survenue de ces maladies. Ce travail a montré que le risque individuel de TMS est de nature dynamique et que l'utilisation de modèles sérocatalytiques est pertinente pour projeter l'évolution des TMS en fonction de l'âge et de l'évolution des facteurs de risques pour une meilleure compréhension et prévention de ces pathologies.

## Résumé en anglais

Musculoskeletal disorders (MSD) are a leading cause of occupational disease and disability worldwide. This thesis aims to make projection of the burden of MSD by 2035. Our work has shown that demography alone is insufficient to explain the global spatio-temporal distribution of MSD, so it is important to consider the evolution of risk factors. The serocatalytic models, usually used for the study of infectious diseases, have been adapted to model the past evolution of MSD and project temporal trends up to 2035. These models have allowed to dissociate the effects of demographic evolutions and secular trends, in the determinants involved in the occurrence of these diseases. This work has shown that the individual risk of developing musculoskeletal disorders (TMS) is dynamic and that using serocatalytic models is relevant for predicting the evolution of TMS based on age and the changing risk factors, leading to a better understanding and prevention of these pathologies.