

# TeM(I)S-ESP : Etude des liens entre TroublEs Musculo-Squelettiques, Environnement Social et Professionnel

---

*Comment intégrer les inégalités sociales, la pénibilité physique au travail dans les modèles de risque d'effet sur la santé – exemple des troubles musculo-squelettiques du coude et des genoux*

**APR EST-11-107-DESCATHA**

*Rapport final*

## **Table des matières**

1	Rappel du projet.....	3
1.1	Contexte .....	3
1.2	Objectif .....	3
2	Discussion autour des modèles existants.....	5
2.1	Définitions .....	6
2.1.1	Troubles musculo-squelettiques .....	6
2.1.2	Facteurs psycho-sociaux.....	6
2.1.3	Facteurs organisationnels d'amont.....	6
2.2	Modèles conceptuels existants .....	8
2.2.1	Biomécaniques .....	8
2.2.2	Modèles complets .....	8
3	Outils méthodologiques .....	16
3.1	Concepts et définitions.....	16
3.1.1	Causalité et association .....	16
3.1.2	Schéma causal ou Directed Acyclic Graph (DAG) .....	17
3.2	Estimation des effets causaux –total, direct et indirect.....	19
3.2.1	Effet causal et de la notion de contrefactuel .....	19
3.2.2	Effets directs et indirects.....	21
3.3	Modèles d'équations structurelles.....	27
3.3.1	Cas de variables continues .....	27

3.3.2	Cas des variables binaires.....	27
4	Mise en pratique dans le contexte des TMS .....	28
4.1	Populations d'études.....	28
4.1.1	Réseau pilote de surveillance épidémiologique des TMS (R3).....	28
4.1.2	Cohorte GAZEL.....	29
4.2	Analyses univariées .....	31
4.2.1	Dans R3.....	31
4.2.2	Dans GAZEL.....	38
5	Conclusion .....	41
6	Bibliographie .....	43
7	Annexes .....	48

# 1 Rappel du projet

## 1.1 Contexte

Connues de longue date, les affections rhumatologiques professionnelles dites troubles musculo-squelettiques ou TMS, sont devenues dans les dix dernières années dans la plupart des pays industrialisés un problème non seulement de « Santé au Travail » mais également de « Santé Publique » (Plan Santé Travail 1 et 2 (1,2)), par leur fréquence et par le handicap qu'elles représentent (3). Les TMS sont d'ailleurs au centre du débat social actuel sur la pénibilité au travail (4).

Malgré les tentatives pour améliorer la situation dans certaines entreprises conscientes du coût humain, social et économique du problème, il existe une augmentation continue de la fréquence de ces pathologies comme en témoignent indirectement les systèmes d'indemnisation des pays qui les reconnaissent (dont la France). En effet, ces troubles sont caractérisés par leur nature multifactorielle pour laquelle l'environnement professionnel est un facteur de risque actuellement admis (5–8). Cependant même si l'hypersollicitation d'origine professionnelle est souvent un facteur prépondérant, il existe d'autres paramètres (sociaux, personnels) qui vont moduler le risque de survenue ainsi que le pronostic (9).

Ces facteurs bien documentés de manière qualitative par les sciences humaines ou médicales, le sont difficilement par des approches épidémiologiques quantitatives usuelles, ce d'autant qu'ils interviennent à la fois sur la prévalence et l'incidence de ces pathologies musculo-squelettiques, mais également sur leur évolution (10). Depuis plusieurs années, le fort développement des modèles statistiques multiniveaux permet des approches épidémiologiques à des niveaux différents et, sous réserve de conditions précises, d'étudier ainsi des effets sur la santé en prenant en compte simultanément les caractéristiques individuelles des sujets et des caractéristiques environnementales partagées par plusieurs individus (11–13).

Nous pensons que ce type de modèles peut permettre une meilleure modélisation du risque de TMS que les méthodes classiques et des modèles purement individuels. Afin d'approfondir cette approche, deux pathologies facilement identifiables comme celles du coude et du genou seront utilisées comme marqueurs de TMS.

## 1.2 Objectif

L'objectif proposé est de développer des approches quantitatives multiniveaux, innovantes dans le domaine du risque professionnel où elles ont encore été très peu utilisées, permettant de préciser les déterminants de certaines pathologies considérées comme traceuses d'éléments de pénibilité physique (pathologies de coude et de genou). Notamment, ces modèles pourraient permettre :

- d'analyser les effets de facteurs de risque professionnels directs (expositions biomécaniques) et indirects (caractéristiques de l'entreprise et de l'environnement de travail) sur le risque de certains TMS ;

- d'évaluer les conséquences sociales et professionnelles de ces problèmes.

### **1.3 Publications**

Quatre publications ont été réalisées dans le cadre du projet. Celles (n=3) publiées ont été mises en annexe et ne seront pas détaillées dans le corps du rapport :

- La première a permis de poser la question des modèles et de leur utilisation

- La deuxième a étudié avec des modèles standards les liens entre facteurs biomécaniques et Psychosociaux ;

- La troisième a étudié avec des modèles standards les liens entre facteurs biomécaniques et Obésité.

Le rapport va reprendre les aspects détaillés des travaux et les résultats principaux.

## 2 Discussion autour des modèles existants

Les troubles musculo-squelettiques sont en France, comme dans d'autres pays industrialisés, la première cause de maladie professionnelle indemnisée, et reste un enjeu de santé au travail comme de santé publique. Bien que la majeure partie des expositions professionnelles suspectées et reconnues soit des hyper-sollicitations de nature physique et biomécaniques, la question du rôle des expositions psycho-sociales et organisationnelles s'est régulièrement posée avec de nombreuses études mettant en évidence des liens avec des expositions professionnelles autres que biomécaniques (14–16)

C'est dans ce contexte qu'en mai 2011, l'Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale (INSERM) a publié les résultats d'une expertise collective sur les différents aspects du stress au travail, dont un chapitre est consacré aux troubles musculo-squelettiques.(17) Initialement centré sur la population des travailleurs indépendants, cet état des lieux a porté en fait sur l'ensemble de la littérature disponible sur le stress au travail et les TMS, quelles que soient les catégories de travailleurs, indépendants et salariés. La notion de stress, souvent retrouvée dans la littérature anglo-saxonne est toujours sujette à caution et on y préférera la définition plus précise ou plus cohérente avec les connaissances disponibles que sont les facteurs psycho-sociaux au travail, les facteurs liés à l'organisation du travail ou contraintes organisationnelles. Ce dernier terme inclus les contraintes temporelles ou l'intensification du travail et plus généralement les facteurs qui définissent le cadre dans lequel le travail doit être effectué, indépendamment dans la façon dont le sujet les perçoit. Ces contraintes ont la particularité de se situer « en amont » à la fois par rapport aux expositions biomécaniques et par rapport à des expositions psycho-sociales au niveau du sujet lui-même (stress perçu)(18).

La prévention des Troubles Musculo Squelettiques (TMS) n'est pas à la mesure des enjeux que ce risque professionnel soulève.

Pourtant, d'immenses progrès dans la connaissance de ce risque ont été accomplis grâce aux nombreux travaux de recherche et à l'intensité de la coopération internationale dans ce domaine.

En conséquence, s'interroger sur les inadéquations des approches disciplinaires ou les limites des modèles de compréhension unidimensionnels (biomécanique ergonomique, biologique, épidémiologique ou même juridique en lien avec la réparation, etc.) est nécessaire. Réfléchir à la complexité ou à la difficulté d'expliquer aux préventeurs et plus largement aux décideurs, la problématique des TMS est urgent. Reconsidérer l'hypothèse pourtant tellement pertinente pour un scientifique, que comprendre est la condition de l'action tout en en recherchant les limites, s'impose.

L'objectif de ce chapitre est après une dimension de définitions tant sur la maladie que sur les facteurs d'exposition, faire un point de données disponibles dans la littérature sur les modèles permettant d'expliquer les liens et les interactions entre les différents paramètres dans la genèse des troubles

musculo-squelettiques. De cet état des connaissances, la dernière partie s'attachera en plus des pistes de recherches à savoir quelles sont les conséquences pratiques pour le médecin du travail et son équipe en termes de prévention et de prise en charge.

## **2.1 Définitions**

### **2.1.1 Troubles musculo-squelettiques**

Les troubles musculo-squelettiques sont caractérisés par des affections péri-articulaires potentiellement liées à une hyper-sollicitation d'origine professionnelle et qui ont un pouvoir de chronicisation et de handicap importants(19–21). Il existe des pathologies spécifiques comme non spécifiques. La plupart des données disponibles dans le cadre des facteurs et des interactions présentées ici sont principalement l'étude des pathologies non spécifiques par auto-questionnaire comme le questionnaire nordique(22,23). Les pathologies avérées peuvent être évaluée par les médecins sur la base de critères-diagnostic précis, même s'il n'existe actuellement peu de données disponibles dans ce champ.

### **2.1.2 Facteurs psycho-sociaux**

(Ces contraintes au travail relèvent de la perception subjective des conditions de travail) les deux principaux facteurs retrouvés dans la littérature se basent sur le modèle de Karasek et Siegrist.

Le modèle de Karasek(24) apprécie trois principales dimensions autour de l'exigence psychologique (« demande »), la latitude décisionnelle et le support ou soutien social avec un déséquilibre et une situation d'inconfort défini par le job strain qui apprécie la coexistence d'une forte exigence et d'une faible latitude basée sur la distribution des scores dans l'échantillon étudié. L'iso strain intègre la dimension de support social en considérant que le job strain peut être aggravé si les personnes ont de plus un faible soutien social.

Le modèle de Siegrist(25) évalue une notion d'effort et de récompenses et étudie le déséquilibre entre ses deux dimensions. Il existe des études actuelles combinant les deux scores.

Il existe d'autres types de contraintes autour des conflits éthiques, l'injustice organisationnelle additionnant les injonctions contradictoires, les conflits de rôles, les violences, même s'il n'existe pas actuellement de données précises dans ce type de « contraintes » au travail (18)

### **2.1.3 Facteurs organisationnels d'amont**

Les facteurs organisationnels relèvent de facteurs objectivables du travail factuel et souvent repérable dans la documentation de l'entreprise. On détaille le contenu du travail, l'organisation et la gestion des ressources humaines, la qualité des relations au travail et l'environnement physique général (bruits, mauvaise ergonomie, openspace...). A ceci s'ajoutent d'autres types de facteurs comme la situation économique et sociale dynamique de l'entreprise et de la Société. Certains détaillent différents facteurs

comme l'isolement, la précarité, les changements organisationnels récurrents, le temps de travail prolongé, le rapport vie au travail/ vie hors travail.

Les facteurs organisationnels qui peuvent être à l'origine de contraintes font l'objet de classifications multiples et évoluent au rythme des changements organisationnels du travail, Ils peuvent être regroupés en **4 grandes catégories** :

-**le contenu du travail** : activités monotones ou répétitives, activités exigeant de traiter un très grand nombre d'informations, exposition permanente à la clientèle, confrontation à la mort ou la souffrance, activité impliquant une responsabilité sur la vie d'autrui...

-**l'organisation du travail ou la gestion des ressources humaines** : changements organisationnels fréquent, horaires de travail incompatibles avec la vie sociale et familiale temps de travail prolongé, interruption fréquente dans le déroulement du travail, flux tendu....

-**la qualité des relations de travail** : isolement social ou physique, management peu participatif, faible communication dans l'entreprise, absence d'évaluation du travail ou évaluation inadaptée...

-**l'environnement physique** : bruit, mauvaise conception des lieux de travail, open space....

A ces facteurs propres à l'entreprise se surajoutent des facteurs liés au contexte sociologique et économique du monde du travail :

-**les évolutions sociologiques** : utilisation croissante des techniques de communication à distance, individualisation de l'activité professionnelle avec sur responsabilisation, exigence ou agressivité de la clientèle...

-**la situation macroéconomique** : intensification du travail, instabilité de l'emploi, importance de la concurrence nationale et internationale, difficultés économiques conjoncturelles....

Un chapitre n'a pas pour objet d'être exhaustif mais de permettre une définition des différents paramètres et expositions, troubles qui vont être présentés. Pour en savoir plus, le lecteur est invité à lire trois documents :

- la revue réalisée dans le cadre de l'expertise collective,(17)
- la synthèse fait par l'INRS autour de cette expertise collective,(18)
- ainsi que le rapport du collège d'expertise sur le suivi des risques psycho-sociaux au travail faisant suite à la demande du Ministre du Travail, de l'Emploi et de la Santé (Gollac M Bodier M Paris Ministère du Travail 2011 – 223 pages). (26)

Par ailleurs, pour connaître les différentes échelles de stress de risques psycho-sociaux, il existe une suite documentaire réalisée par Langevin V, François M, Boinis et Riou A, publiée dans le document pour le médecin du travail.(24,25,27)

## 2.2 Modèles conceptuels existants

### 2.2.1 Biomécaniques

Depuis très longtemps, il existe des modèles conceptuels dans le cadre des pathologies musculo-squelettiques, d'abord décrits autour de facteurs biomécaniques(28) : la contrainte qui s'exerce sur un territoire ou sur une structure de l'appareil moteur est fonction de la force déployée, les postures articulaires et de la fréquence des mouvements réalisés (ou de la durée des postures contraignantes en cas d'effort statiques)(29). Le risque de TMS est d'autant plus grand que la contrainte est importante.

### 2.2.2 Modèles complets

Dans le cadre de ces pathologies, compte-tenu justement des contraintes générales, les modèles ont été mis en défaut sur leur simplicité et leur simplification ne prenant pas en compte des facteurs à la fois individuels mais également organisationnels. De nombreux modèles ont ainsi intégré ces différents facteurs. Malheureusement, les liens entre les différents facteurs sont toujours sujets à controverse. Les modèles les plus aboutis sont probablement ceux qui intègrent la dimension cellulaire ainsi que la dimension macro mais ne permettent absolument pas d'être utilisés en pratique par le praticien de terrain (modèle de Bruxelles)(30). Certains modèles intègrent les différents paramètres mais sans préciser les liens précis (31).

Actuellement, différents types de modèles peuvent être retenus comme pertinents :

- le modèle basé sur le NAS et repris par Marras,
- le modèle basé sur McDonald et al,
- le modèle à partir de l'expertise collective.

#### 2.2.2.1 *Modèle basé sur le NAS et repris par Marras : relation charge tolérance*

Traditionnellement, la littérature a enquêté sur les causes de TMS par les disciplines traditionnelles de la biomécanique, la psychologie, la psychophysique, psychosocial, de la physiologie, génétique, la psychologie organisationnelle et la réadaptation. Chacune de ces disciplines a étudié la causalité des TMS dans l'isolement des autres disciplines.

Les modèles biomédicaux explicatifs des TMS font appel aux données de la physiologie et de la biomécanique. L'élément central du modèle est la charge qui s'exerce sur les tissus du système musculo squelettique. Celle-ci va exercer des effets sur les tissus pouvant dans certaines conditions engendrer les mécanismes physiopathologiques à l'origine des affections musculo squelettiques .L'application du modèle biomécanique théorique aux situations de travail repose sur le concept de charge musculo squelettique.

Les 1<sup>ers</sup> modèles directement inspirés de la biomécanique des tissus mous se sont avérés insuffisants pour expliquer le risque de TMS dans de nombreuses situations de travail.

Les modèles successifs ont par conséquent progressivement intégré des contraintes et des caractéristiques générales des situations de travail comme les facteurs psychologiques, sociaux et organisationnels.

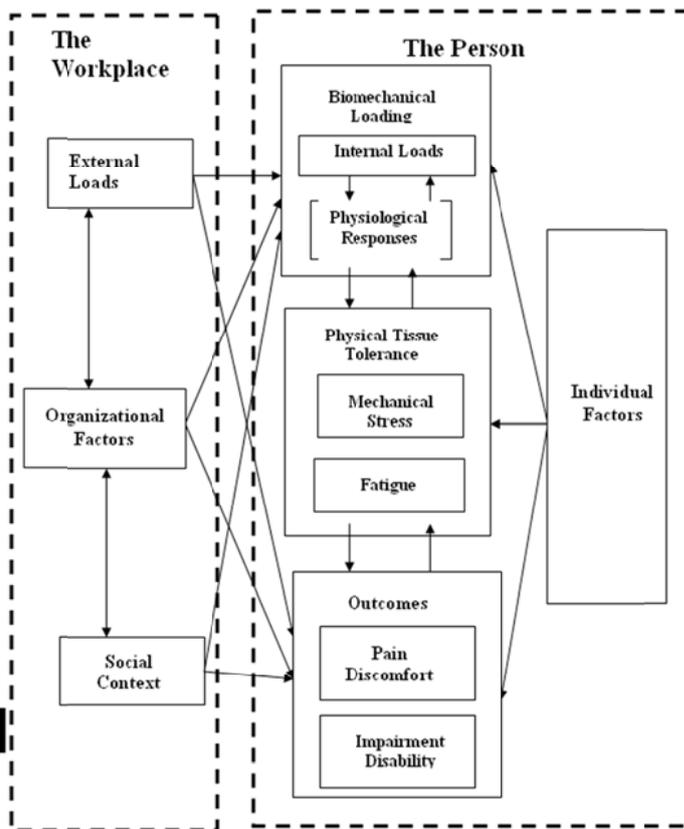
La NAS a ainsi proposé un cadre conceptuel de la façon dont les différentes avenues de recherche peuvent être interreliées. Le principe qui sous-tend ce modèle conceptuel est que tout TMS doit avoir un fondement biologiquement plausible.

Le modèle indique que la **relation charge-tolérance** peut être influencée par de nombreux facteurs.

Le modèle conceptuel décrit illustre la façon dont la relation complexe entre les charges externes, les facteurs organisationnels, les facteurs individuels et du milieu social du travail peut conduire à des résultats indésirables qui comprennent la douleur, déficience et le handicap

Le modèle montre des facteurs individuels, organisationnels et sociaux comme source de variation qui pourrait affecter directement les voies physiologiques menant vers la charge tissulaire par le biais de dépréciation, à l'invalidité.

Ce modèle est malheureusement difficilement applicable en pratique pour une démarche préventive pour le préventeur.



Conceptual framework of physiological pathways and factors that potentially contribute to musculoskeletal disorders (NAS 1999).

### 2.2.2.2 *Modèle basé sur McDonald et al : organisation au travail*

Face aux limites des modèles prescriptifs d'inspiration biomédicale pour les interventions en entreprise, d'autres approches de TMS ont été proposées.

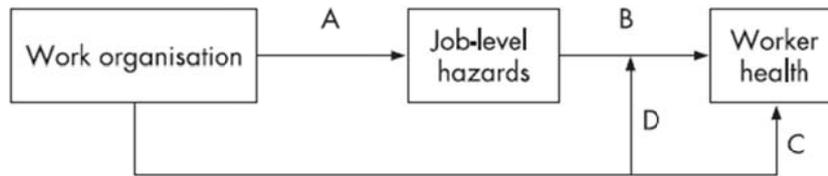
L'approche organisationnelle des TMS tend à se développer tant pour la compréhension des mécanismes générateurs de TMS que pour les interventions en entreprise.

Cette approche souligne le rôle actif de l'opérateur dans la construction des modes opératoires les moins défavorables pour sa santé et les possibilités de régulation individuelle et collective à sa disposition.

Dans ce cadre, l'existence de marges de manœuvre doit être favorisée par la prévention pour que l'opérateur puisse protéger sa santé par un évitement de l'exposition aux risques, par des changements des modes opératoires permettant la compréhension de des déficiences ou par la construction de collectif de travail.

Cette approche insiste sur la nécessité de proposer des actions préventives cohérentes avec le modèle d'un salarié en capacité de réguler ne serait-ce qu'une part de la situation qu'on lui impose. Ce point

de vue nécessite un changement de paradigme par rapport au modèle biomédical classique pour reconnaître à l'opérateur un rôle d'acteur dans la construction de ses conditions de travail et de sa santé.



**Figure 1** Conceptual pathways that link organisational characteristics with workplace health and safety hazards and worker health outcomes. The box "work organisation" potentially represents multiple levels above the job level.

*Extrait de : Mac Donald L. et al. Work organization and risk factors for musculoskeletal disorders, PREMUS 2007*

- **A**=organisation du travail (OT) cø déterminant des contraintes psychosociales et biomécaniques
- **B**= OT en lien avec les TMS par l'intermédiaire d'une relation exposition-effet
- **C**=OT peut modifier la relation exposition-effet en altérant par exemple la capacité de récupération des salariés
- **D**= influence de l'OT sur la santé en dehors des relations exposition-effet (ex : retentissement sur l'hygiène de vie)
- Contraintes psychosociales et biomécaniques reconnues comme importantes (**B**), mais non isolées des déterminants organisationnels (**A, C, D**)

On peut attribuer soit aux facteurs psychosociaux soit aux facteurs biomécaniques des troubles de santé qu'il serait plus pertinent d'attribuer à des facteurs d'organisation du travail qui gouverne la structure du travail en amont.

Le modèle conceptuel proposé par Mc Donald est centré sur **l'organisation du travail**, un déterminant essentiel des autres contraintes professionnelles connus.

Mc Donald souligne que le fait de ne pas tenir compte des facteurs organisationnels qui sont des précurseurs des risques professionnels pourrait limiter notre capacité à concevoir et mettre en œuvre un contrôle des risques durables et efficaces.

Il indique comment l'organisation du travail entre dans le modèle comme co-déterminant des contraintes professionnelles, en lien avec les TMS par l'intermédiaire d'une relation exposition effet, altère les capacités de récupération des salariés...

L'inconvénient est que ce modèle est peu détaillé dans les relations de causalité, incomplet, peu de description des autres facteurs impliqués dans la genèse du TMS. Modèle centré uniquement sur l'organisation du travail. Ce modèle est ainsi difficilement utilisable en pratique pour le praticien de terrain dans le domaine préventif.

### *2.2.2.3 Modèle à partir de l'expertise collective : les facteurs psychosociaux*

Dans un monde où l'organisation du travail a profondément changé par rapport au siècle dernier, l'intensification du rythme du travail liée à la mondialisation et la compétitivité entraîne une explosion du nombre de TMS avec l'arrivée de nouveaux modèles dans le champ de l'épidémiologie psychosociale professionnelle tels que l'injustice organisationnelle, l'insécurité de l'emploi, les exigences émotionnelles...

Les relations entre expositions psychosociales et TMS ont été ainsi fortement explorées .

L'évolution des caractéristiques du travail au cours des dernières décennies a été marquée par une tendance durable à l'intensification en lien avec l'émergence de nouveaux modes d'organisation.

Cette intensification s'est caractérisée dans de nombreux secteurs d'activité de travail portant sur le rythme, les horaires atypiques. L'autonomie dans le travail a progressé mais demeure faible dans l'ensemble et surtout inégalement répartie entre les catégories socioprofessionnelles.

Ainsi, à côté des facteurs de pénibilité physique et d'hypersollicitation biomécanique, ces facteurs psychosociaux du travail sont schématisés dans les modèles épidémiologiques actuels et sont associés à un risque accru de TMS.

On peut regretter que les revues générales issues de la littérature épidémiologique ne discutent pas suffisamment des interrelations entre facteurs psychosociaux et biomécaniques, laissant le plus souvent sans réponse la question de savoir si les expositions psychosociales auraient les mêmes conséquences selon que les expositions biomécaniques sont présentes ou absentes.

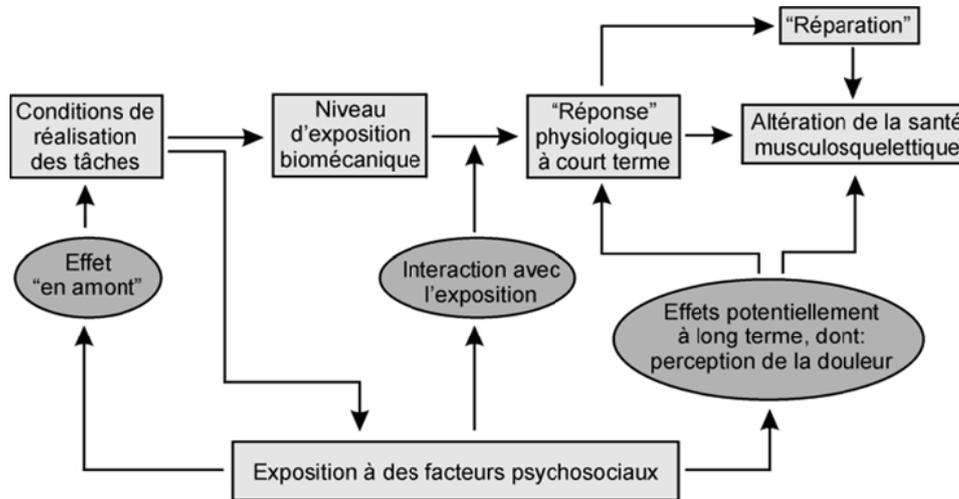
L'expertise collective a essayé de construire un modèle conceptuel centré sur les différents niveaux d'impact des facteurs psychosociaux sur la santé musculo-squelettique : effet en amont, interaction, effet à long terme.

Trois principaux types d'effets des facteurs psychosociaux peuvent conduire à une altération de la santé musculo-squelettique :

-Les effets « en amont » liés à l'organisation du travail ont des conséquences directes sur les expositions biomécaniques (et aussi des effets sur les expositions psychosociales au sens usuel du terme) ;

-Les effets d'interaction, directs et à court terme, entre exposition biomécanique et conditions stressantes, ont été documentés par des études expérimentales. Il a ainsi été montré que l'activité musculaire en réponse à une tâche de manutention était accrue si les sujets devaient travailler « en situation de stress » (Marras, 2000). D'autres auteurs ont répété ce type d'expérience, et montré que l'activité musculaire mesurée par EMG (électromyographie) dépendait du « niveau de stress » ;

-Les effets d'interaction à plus long terme entre exposition biomécanique et conditions stressantes pourraient être évoqués en termes d'effets du stress chronique



Pour la plupart des sites de douleur, de nombreuses études montrent des liens avec les expositions aux facteurs de risques psychosociaux, mais les associations sont souvent d'intensité modeste, et globalement moins fortes dans les études dont la qualité méthodologique est la meilleure (études longitudinales). Le niveau de preuve varie également selon le site de douleur.

Trop peu d'études ont essayé de déterminer les effets à long terme des facteurs psychosociaux sur les TMS.

Les 3 modèles conceptuels présentés ont l'inconvénient majeur de ne pas être pour l'équipe préventive, applicable en pratique dans le domaine de la prévention et la prise en charge. Le niveau d'approche des facteurs de risque centré sur les situations de travail est insuffisant pour identifier les pistes de solutions préventives et définir les modifications technico organisationnelles susceptibles de réduire le risque de TMS. Pour cela il est nécessaire d'élargir l'analyse à l'entreprise et à son environnement socio-économique ou seront recherchés les déterminants de l'activité des opérateurs et des facteurs de risque identifiés au poste de travail.

Il s'agit d'une étape capitale de la phase d'identification des facteurs de risque puisque c'est sur ces déterminants, leurs enchainements et leurs interactions que devra porter l'intervention ergonomique.

De ces modèles, on peut tirer un modèle intégré.

#### 2.2.2.4 *Modèle intégré*

Le modèle intégré doit être simple et détaillé en pratique pour la démarche préventive du praticien

Le modèle conceptuel proposé implique l'intégralité des différents facteurs de risques déjà utilisé et connus dans la littérature.

De ce fait, un modèle complet causale sur les TMS doit intégrer comme facteurs : le facteur physique, les facteurs psychosociaux, âge, les facteurs personnels, facteurs organisationnels et le niveau social.

Les TMS liés au travail sont toujours consécutifs à une activité physique professionnelle (relation causale reconnue) mais n'explique pas toutes les situations, et c'est pourquoi les relations entre les différents facteurs sont importants à préciser. Entre ces facteurs, il faudra bien tenir compte des liens **possibles** existants entre chacun d'entre eux (confusion, interaction, modification d'effet....) dans le schéma (à légènder en pointillé car hypothétique).

L'analyse ergonomique des situations de travail montre à quel point les facteurs organisationnels et psychosociaux ciblés par les études épidémiologiques (par exemple, la faible latitude décisionnelle ou le manque de support des superviseurs), peuvent être à l'origine des contraintes biomécaniques aux postes de travail et du stress vécu par les travailleurs (Vézina 2001 ; Stock et coll. 2006)

L'activité conditionne la santé et réciproquement, ce qui souligne la nécessité de dépasser le modèle risque-maladie en articulant les TMS avec la situation de travail.

Il est intéressant d'ajouter au modèle, les différents moyens de prévention en fonction des facteurs de risques.

Pour le préventeur, chaque facteur proposé doit être plus détaillé pour déterminer un listing précis de l'exposition menant aux TMS pour la mise en œuvre préventive:

-exposition physique : force, posture, répétition.

-exposition psychosociale : demande psychologique, latitude décisionnelle, soutien social

-facteur organisationnel : contenu du travail, l'organisation et la gestion des ressources humaines, la qualité des relations au travail et l'environnement physique général (bruits, mauvaise ergonomie, openspace...), la situation économique et sociale dynamique de l'entreprise et de la Société

-Facteurs personnels : IMC, âge, tabac, sport.....

-TMS : ancienneté, type, évolutivité.....

En termes de prévention :

On doit considérer que la prévention des TMS se construit autour de deux axes indissociables. Le premier, qui concerne le **milieu de travail** (situation et organisation de travail) est un axe pérenne. Il se fonde sur l'intervention ergonomique, se déroule dans le temps et suit une démarche de conduite de projet. Le second, complémentaire, porte sur le salarié, plus son état est aggravé, plus la prise en

charge **individuelle physique et psychique** sera requise. La coordination des deux niveaux d'action est un élément clé de réussite.

De ce modèle, on pourra en tirer une grille de recueil pour le médecin du travail, outil de dépistage intéressant pour cerner les différentes problématiques et les différents moyens d'action pouvant être mise en œuvre.

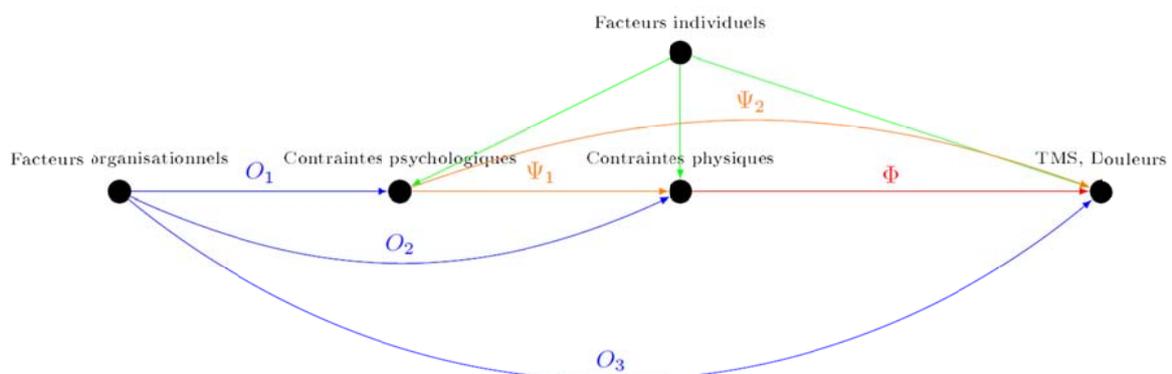
Nous avons décrit ici un modèle générale avec les différentes hypothèses d'effet causal pour l'ensemble des TMS mais il faut souligner qu'en se basant sur la littérature, ces hypothèses sont plus ou moins vérifiés en fonction du site douloureux et en fonction du niveau social (d'où un modèle avec des liens entre facteurs en pointillés, hypothétiques).

Les facteurs de risques professionnels de TMS doivent être analysés au niveau de la situation de travail considérée mais aussi niveau global de l'entreprise et de son environnement socio-économique.

La singularité des situations de travail et la subjectivité des opérateurs rendent nécessaire une approche clinique des TMS. Ceci souligne la valeur de l'analyse ergonomique du travail lors de l'évaluation du risque de TMS pour dépasser la notion de « facteur de risque » et appréhender le rôle actif de l'opérateur dans la construction de sa santé.

**Pour être le plus proche de la réalité**, il faudrait se baser sur des salariés au **niveau social** comparable (ouvriers, cadres.....) et pour chaque site douloureux, **un modèle plus précis** (précision sur les différentes expositions en cause) devrait être réalisé se basant sur la littérature.

Il est important de tenir compte du **contexte de l'intervention** (caractéristiques de l'entreprise, de la population, organisation de la SST) et des **caractéristiques de l'intervenant** pour comprendre les effets produits.



### 3 Outils méthodologiques

L'objectif de cette partie est d'introduire les notions statistiques utiles à réalisation de modèles prenant en compte l'ensemble des informations discutées dans la partie précédente.

Cette partie s'appuie sur la littérature sur les analyses causales, entre autres les travaux de Greenland, Pearl, Hernan et Robin (32–35).

On se limite au cas où les expositions et les variables intérêts sont binaires.

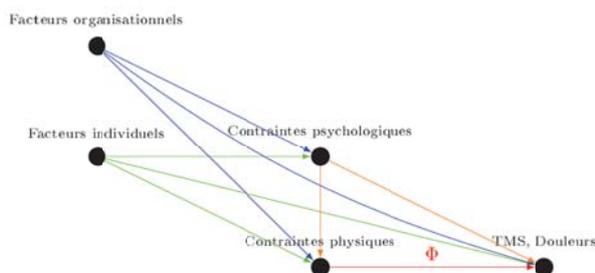
#### 3.1 Concepts et définitions

##### 3.1.1 Causalité et association

Dans un essai randomisé idéal, l'association brute entre la variable d'intérêt et l'exposition correspond à l'effet causal de l'exposition sur la variable d'intérêt. Cependant, dans les études épidémiologiques en général, cette association brute ne traduit pas directement l'effet causal, en particulier s'il existe des facteurs de confusions.

Pour pallier ce problème, l'ajustement sur les facteurs de confusion dans un modèle multivarié est classiquement utilisé. L'effet causal correspond alors à l'association ajustée dans le cadre d'une situation de confusion simple, c'est-à-dire avec les facteurs de confusions sans lien entre eux et sans facteurs de confusions non mesurés.

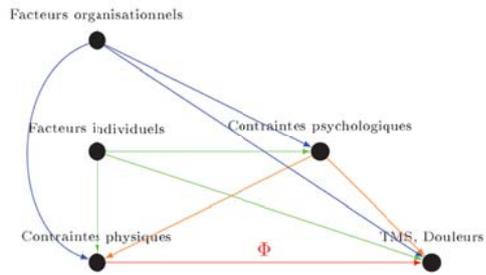
En prenant pour exemple le modèle conceptuel présenté dans la partie précédente, on se trouve dans un cas simple pour étudier le lien entre les contraintes physiques professionnelles et les TMS :



On a trois grandes classes de facteurs de confusion à prendre en compte : les facteurs organisationnels, les contraintes psychologiques et les facteurs individuels pour évaluer la relation d'intérêt.

Dans le cas de liens croisés et complexe entre les variables ou dans le cadre de données manquantes ou non mesurées, l'ajustement simple n'est pas suffisant à estimer correctement un effet causal. Il existe des méthodes sophistiquées qui permettent d'exploiter au mieux les données et les liens entre les variables dans ce genre de situations. Dans le paragraphe suivant, on introduit les définitions préalables à ces méthodes.





Ce graphique se lit de la manière suivante :

- Les facteurs organisationnels causent les TMS, les douleurs,
- Les facteurs individuels causent des contraintes physiques,
- Les contraintes psychologiques causent des contraintes physiques,...

On parle de « chemin » pour indiquer une suite de flèche allant d'une variable à une autre. Certains chemins sont causaux, comme le chemin direct des contraintes physiques aux TMS et douleurs. D'autres indiquent seulement une association comme le chemin allant des contraintes physiques aux TMS et douleurs en passant par les facteurs organisationnels.

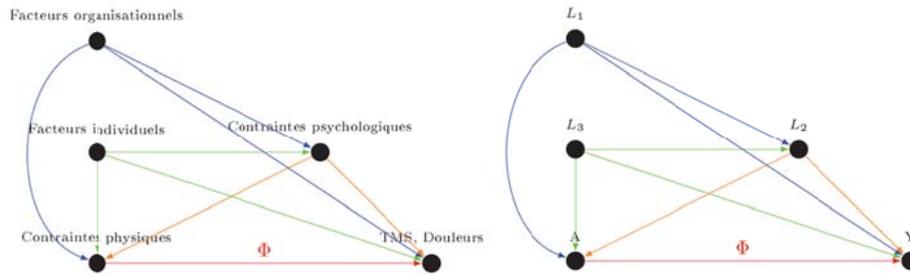
Des règles simples permettent d'exploiter le graphique pour décider sur quels facteurs on doit ajuster pour obtenir l'effet causal recherché.

En effet, on dit qu'un chemin est « bloqué » si on a ajusté sur un élément sur ce chemin. Par exemple, on bloque le chemin des contraintes physiques aux TMS qui passe par les facteurs individuels en ajustant sur ceux-ci (situation de confusion simple). La seule condition pour que ce chemin soit effectivement bloqué est que l'élément sur lequel on ajuste ne doit pas être lui-même une conséquence commune de deux autres éléments sur le chemin, c'est-à-dire un « collider ». Par exemple, sur le chemin allant des facteurs organisationnels aux facteurs individuels, on doit pas ajuster sur les contraintes psychologiques qui vont créer une association qui n'existe pas en réalité. Quand un chemin est bloqué, les deux variables reliées par ce chemin ne sont plus associées.

Ainsi, pour ce cas simple, on retrouve bien que pour calculer l'effet causal des contraintes physiques sur les TMS et les douleurs, il faut ajuster sur les facteurs organisationnels, individuels et les contraintes psychologiques.

## 3.2 Estimation des effets causaux –total, direct et indirect

### 3.2.1 Effet causal et de la notion de contrefactuel



Soit une population de  $N$  individus,  $i = \{1, \dots, N\}$ .

Soit une exposition binaire  $A = (A_i)_{i=\{1, \dots, N\}}$ , une variable d'intérêt binaire  $Y = (Y_i)_{i=\{1, \dots, N\}}$  et les facteurs de confusion  $L = (L_i)_{i=\{1, \dots, N\}}$ .

On définit tout d'abord l'effet causal individuel  $\mu_i$  par un contraste entre la valeur de la variable d'intérêt si l'individu avait été exposé au facteur de risque ( $Y_{A_i=1}$ ) et si l'individu n'avait pas été exposé au facteur de risque ( $Y_{A_i=0}$ ) par exemple :

$$\mu_i = Y_{A_i=1} - Y_{A_i=0}$$

On appelle  $Y^{A_i}$  le contrefactuel de  $Y$  sous  $A_i$ .

On définit l'effet causal moyen  $\mu$  sur une population donnée par la moyenne des effets causaux individuels. Ainsi, si on cherche à exprimer l'effet causal moyen en termes d'odds-ratios, on a :

$$\mu = \frac{P(Y_{A=1} = 1) / (1 - P(Y_{A=1} = 1))}{P(Y_{A=0} = 1) / (1 - P(Y_{A=0} = 1))}$$

Pour estimer l'effet causal moyen, on doit faire certaines hypothèses portant sur les contrefactuels :

- Consistance : Si l'individu expérimente l'exposition  $A_i = a$ , on a  $Y_{A_i=a} = Y$

*Equivalent à supposer qu'on définit l'exposition comme une intervention précise (par exemple, si on définit l'exposition par l'obésité, cette définition est trop large puisqu'il y a de nombreux mécanismes qui peuvent mener à l'obésité)*

- « Echangeabilité » conditionnelle : conditionnellement aux facteurs de confusion  $L$ , si les exposés avaient été non exposés, ils auraient expérimentés en moyenne les mêmes valeurs de  $Y$  et inversement (les deux groupes non exposés et exposés sont « échangeables »)

conditionnellement à L). On dit aussi que  $Y_a$  est indépendant de A conditionnellement à L (s'écrit  $Y_a \perp A|L$ )

*Equivalent à supposer qu'on n'a pas de confusion non mesurée*

- Positivité : toutes les probabilités conditionnelles à L d'être traités sont positives

*Equivalent à supposer qu'on se place sur une population pertinente (par exemple, on va exclure les hommes si on cherche l'effet causal d'un traitement sur la ménopause)*

Ces hypothèses permettent formaliser dans le cadre des contrefactuels ce qu'on suppose déjà une étude épidémiologique classique (hormis pour la première hypothèse qui est plus délicate).

Avec ses hypothèses, on a  $P(Y_{A=a}) = \int P(Y|A = a, l)f(l)dl$  (où  $f$  est la densité des facteurs de confusion L). On retrouve donc que l'effet causal moyen est lié à l'association ajustée entre la variable d'intérêt et l'exposition.

*Remarque : Sauf pour certains types d'études (case cross-over) et certains types de facteurs de risques (réversibles et effet temporel à très court terme), pour un individu donné, on n'a jamais accès aux deux contrefactuels, on a seulement le contrefactuel pour l'exposition  $A_i$  que l'individu a réellement expérimentée. On ne peut donc quasiment jamais estimer l'effet causal individuel en pratique. Par contre, on peut estimer l'effet causal moyen.*

Les méthodes couramment utilisées pour estimer les effets causaux sont décrites dans la partie suivante. Pour plus de détail, le lecteur pourra se référer par exemple à la publication suivante (37)

### **3.2.1.1 Estimation par standardisation**

On fait le modèle classique d'ajustement de Y sur ces facteurs prédictifs (facteurs de confusion, expositions).

La standardisation s'effectue en 3 étapes :

- La prédiction sur l'ensemble des individus (exposés ou non exposés à A) de Y en imposant la non exposition pour tous (c'est-à-dire en fixant  $A=0$  quel que soit la vraie valeur de A)

$$P(Y^{A=0}) = \frac{1}{N} \sum_i P(Y|L_i, A = 0)$$

- La prédiction sur l'ensemble des individus (exposés ou non exposés à A) de Y en imposant l'exposition pour tous (c'est-à-dire en fixant  $A=1$  quel que soit la vraie valeur de A)

$$P(Y^{A=1}) = \frac{1}{N} \sum_i P(Y|L_i, A = 1)$$

- Le calcul du contraste correspondant à l'effet causal moyen voulu

### 3.2.1.2 Estimation avec les modèles marginaux

On va pondérer la population de manière à former une pseudo-population qui aura des caractéristiques identiques pour les facteurs de confusion L, c'est-à-dire une pseudo-population où l'association entre Y et A est aussi l'effet causal puisqu'il n'y a plus de confusion.

Pour créer ses pondérations, on calcule la propension à l'exposition A sachant les facteurs de confusion L. On prend tout simplement comme poids l'inverse de ce score de propension.

$$P(Y^{A=a}) = P_w(Y|A = a) \text{ où } w = \frac{1}{P(A|L)}$$

On réalise ensuite le modèle bivarié pondéré avec une fonction de lien g qui regarde l'association entre Y et A.

$$E(Y_a) = E_w(Y|A = a) = g(\gamma_0 + \gamma_1 a)$$

### 3.2.2 Effets directs et indirects

Dans les parties précédentes, on se place dans un cas où l'on veut étudier l'effet « total » d'une exposition sur une variable réponse (TE). Dans de nombreux cas, les investigateurs souhaitent en réalité étudier l'effet « direct » de l'exposition, c'est-à-dire l'effet ne passant par d'autres variables intermédiaires du modèle. Plus précisément, c'est l'effet de l'exposition sur la variable réponse avec les autres variables intermédiaires fixées (38).

Dans l'étude proposée, on se trouve dans le cas où on veut étudier l'effet de variables d'exposition placées dans une chaîne causale et voir si les variables en question jouent également directement sur la variable réponse.

L'effet causal direct peut être défini de deux façons :

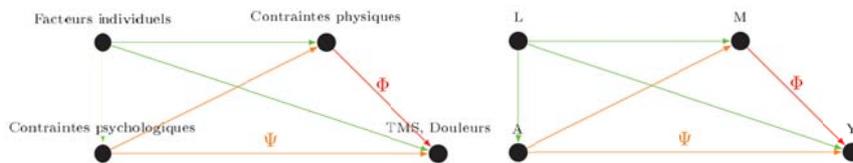
- L'effet direct prescriptif c'est-à-dire l'effet causal avec les variables médiatrices fixées à une valeur choisie. On parle d'effet direct contrôlé.
- L'effet direct descriptif c'est-à-dire l'effet causal avec les variables médiatrices telles qu'on les trouve pour les non exposés. On parle d'effet direct naturel.

Dans cette étude, nous nous intéresseront aux effets directs naturels (DE) qui correspondent plus à ce qu'on peut réellement appliquer en terme de santé publique (on imagine plus facilement rendre les conditions de travail similaire entre les exposés aux risques psychosociaux et les non exposés que de fixer des conditions de travail identiques pour tous).

Les effets directs et indirects ont été historiquement utilisés dans le domaine des sciences sociales, en particulier avec des modèles adaptés aux variables continues comme les équations structurelles (39). Mais ces méthodes ne sont pas transposables directement pour les calculs dans le cadre des données binaires (40,41). Ainsi, de nouvelles méthodologies ont été développées pour calculer ces effets directs et indirects (38,35,41–46).

### 3.2.2.1 Cas d'un médiateur unique

On s'intéresse à l'effet des contraintes psychologiques sur les TMS et les douleurs. Elles sont médiées par les contraintes physiques. Les facteurs individuels sont des facteurs de confusion prétraitement.



L'effet causal direct (DE) peut être défini comme l'effet causal de l'exposition si tous les individus (qu'ils soient effectivement exposés ou non) avaient eu des variables médiatrices comme chez les non exposés.

L'effet causal indirect (naturel) (IE) peut être défini comme l'effet causal si tous les individus avaient été exposés avec d'une part les variables médiatrices comme chez les non exposés et d'autre part les variables médiatrices comme chez les exposés.

On peut définir ces notions plus spécifiquement à l'aide de la notion de contrefactuel en introduisant les notations suivantes :

Soit A l'exposition, M le médiateur et Y l'outcome

On définit le contrefactuel de M en fonction de la valeur de A=a :  $M_a$

On définit le contrefactuel de Y en fonction de la valeur de A=a et M=m :  $Y_{a,m}$

On a donc l'égalité suivante si on observe A=a :  $Y = Y_a = Y_{a,M_a}$

Les définitions précédentes se traduisent de la manière suivante :

$$DE = E(Y_{1,M_0}) - E(Y_0)$$

$$IE = E(Y_1) - E(Y_{1,M_0})$$

$$TE = E(Y_1) - E(Y_0)$$

Le calcul des effets directs et indirect est possible si les deux contrefactuels  $M_a$  et  $Y_{am}$  sont identifiables, c'est-à-dire (en se référant aux hypothèses formulées pour les effets globaux) :

$$(Y_{am}, M_{a'}) \perp\!\!\!\perp A | L \quad (1)$$

$$Y_{arm} \sqcup M|L, A = a \quad (2)$$

Dans le cas d'une variable d'intérêt binaire et de modèle logistiques, par construction, il n'est pas automatique de retrouver l'effet total en sommant les deux effets précédents. Ainsi, les interprétations des rapports entre les effets sont plus complexes, c'est pour cette raisons que les résultats seront présentés en différence de risque et non en odds-ratios.

L'équation (2) peut être difficile à justifier puisqu'elle suppose d'une part qu'il n'existe pas de facteurs de confusion prétraitement non mesurés entre le médiateur et l'outcome et d'autre part qu'il n'existe pas de confusion post-traitement (mesurée ou non)(45). Dans le cas où il y a plusieurs médiateurs, cela revient à supposer qu'ils sont indépendant entre eux conditionnellement à  $(L, A)$ .

Si ces hypothèses sont vérifiées, on peut calculer les effets directs et indirects. De même que pour les effets globaux, il y a deux méthodologies qui sont possibles.

#### 3.2.2.1.1 Estimation par standardisation

D'après les hypothèses précédentes, on a les équations suivantes :

$$DE = \sum_l \sum_m [E(Y|A = 1, M = m, L = l) - E(Y|A = 0, M = m, L = l)]P(M = m|A = 0, L = l)P(L = l)$$

$$IE = \sum_l \sum_m E(Y|A = 1, M = m, L = l)[P(M = m|A = 1, L = l) - P(M = m|A = 0, L = l)]P(L = l)$$

Ainsi, si on utilise des modèles appropriés pour  $Y|A, M, L$  et pour  $M|A, L$ , alors on obtiendra une estimation des effets directs et indirects.

#### 3.2.2.1.2 Estimation avec les modèles marginaux

De manière similaire aux calculs sur les effets globaux, on veut estimer  $E(Y_{aM_{a^*}})$  (42).

On modélise cette espérance par :

$$E(Y_{aM_{a^*}}) = g(c_0 + c_1 a + c_2 a^*)$$

Où  $c_1$  sera l'effet direct et  $c_2$  sera l'effet indirect.

Plusieurs procédures sont proposées dans la littérature pour modéliser les pondérations et les effets directs et indirects. Deux méthodes sont citées dans ce rapport (42,47).

La première méthode va créer une pondération globale avec A et M (42). Pour ce faire, on duplique la population initiale en une population identique et une population avec l'exposition inverse et on pondère ces observations par :

$$w = \frac{P(A) P(M|A^*,L)}{P(A|L) P(M|A,L)}$$

où  $A^*$  est l'exposition opposée à celle qui est observée

Ainsi, on obtient dans cette population pondérée l'égalité :

$$E_w(Y) = g(c_0 + c_1 a + c_2 a^*)$$

Cette méthode s'apparente aux méthodes dites de « data augmentation » : on va créer une population fictive dans laquelle les poids créés vont permettre de calculer  $E(Y_{aM_{a^*}})$ .

La deuxième méthode fonctionne en deux temps : on modélise d'abord  $M_{a^*}$  puis  $Y_{aM_{a^*}}$  (45). Ainsi, on modélise  $E(M|A, L)$  puis on en tire  $E(Y_{aM_{a^*}})$  :

$$E(Y_{aM_{a^*}}) = E(Y|A = a, M_{a^*}) = E(Y|A = a, E(M|A = a^*, L))$$

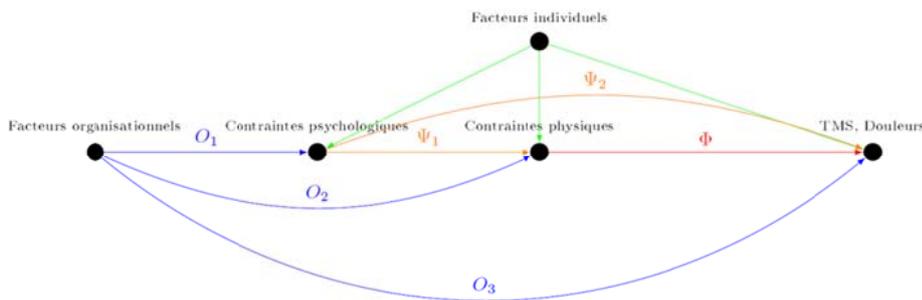
### 3.2.2.2 Cas de plusieurs médiateurs indépendants

S'il y a plusieurs médiateurs indépendants, il suffit de faire la procédure précédente pour chaque médiateur. Dans l'hypothèse où il n'y a pas d'interaction entre les médiateurs et entre le traitement et les médiateurs, alors l'effet indirect de l'ensemble des médiateurs indépendants considérés est la somme des effets indirect de chaque médiateur.

### 3.2.2.3 Cas de plusieurs médiateurs dépendants

#### 3.2.2.3.1 Exemple

On se place maintenant dans le cadre du modèle conceptuel proposé :

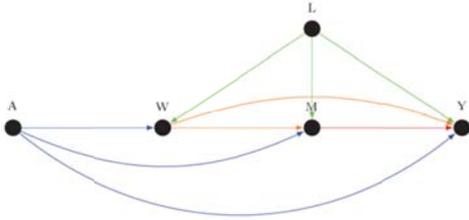


On a deux médiateurs entre les facteurs organisationnels et les TMS : les contraintes psychologiques et les contraintes physiques. Ces deux médiateurs ne sont pas indépendants puisque les contraintes psychologiques entraînent des contraintes physiques.

### 3.2.2.3.2 Identifiabilité

Dans le cadre d'un modèle avec des médiateurs dépendants les uns des autres, l'hypothèse (2)  $Y_{a_0 m} \perp\!\!\!\perp M|L, A = a$  n'est plus vérifiée (35).

On se place dans le cas où on a deux médiateurs  $M$  et  $W$  avec une relation causale entre les deux.



L'écriture du contrefactuel devient plus complexe ; on cherche à évaluer  $E(Y_{a_0 w m}) = E(Y_{a_0 W_{a_1} M_{a_2, W_{a_{12}}}})$ .

Pour reprendre la terminologie de Albert et al., il y a donc ici 4 « chemins » pour aller de A à Y : le chemin direct de A à Y, celui passant par W, celui passant par M et celui passant par M et W (44).

On a la formule suivante :

$$E(Y_{a_0 W_{a_1} M_{a_2, W_{a_{12}}}}) = \sum_l \sum_{w,m} E(Y|A = a_0, W = w, M = m, L = l) P(M_{a_2, W_{a_{12}}} = m | W_{a_1} = w, L = l) P(W_{a_1} = w | L = l) P(L = l)$$

Ainsi, cette relation est estimable uniquement si  $a_{12} = a_1$ . Si  $a_{12} \neq a_1$ , alors des hypothèses supplémentaires sont nécessaires.

L'idée intuitive sous ce problème d'identifiabilité est qu'on ne peut pas se placer simultanément sous l'hypothèse que W est observé comme si les individus étaient exposés simultanément à  $a_1$  et  $a_{12} \neq a_1$ .

Peu d'articles traitent des problèmes de plusieurs médiateurs liés entre eux, sauf pour indiquer ce problème d'identifiabilité (44–46). Certains auteurs ont proposés des méthodes avec des médiateurs continus, impliquant de modéliser la distribution jointe des médiateurs ou de modéliser séquentiellement les médiateurs (44,46,48).

Dans Albert et al., les auteurs proposent de supposer que  $W_0$  est indépendant de  $W_1$  conditionnellement à L (44). Ainsi, on peut écrire :

$$\begin{aligned} P(M_{a_2, W_{a_{12}}} = m | W_{a_1} = w, L = l) &= \sum_{w'} P(M_{a_2, W_{a_{12}}} = m | W_{a_{12}} = w', L = l) P(W_{a_{12}} = w' | W_{a_1} = w, L = l) \\ &= \sum_{w'} P(M_{a_2, W_{a_{12}}} = m | W_{a_{12}} = w', L = l) P(W_{a_{12}} = w' | L = l) \end{aligned}$$

Dans Imai et al. (45), les auteurs proposent de supposer qu'il n'y a pas d'interaction entre le traitement et le médiateur :

$$Y_{a_0 W_1 m} - Y_{a_0 W_0 m} = Y_{a_0 W_1 m'} - Y_{a_0 W_0 m'} \quad \forall m, m'$$

Cette hypothèse est moins forte que la précédente. De plus, les auteurs proposent une implémentation dans R avec le package médiation pour deux médiateurs (avec l'un facteur de confusion de l'autre). Cependant, cette implémentation pour les médiateurs multiples n'est valable que pour une variable d'intérêt continue (45).

VanderWeele et al. sont les seuls à proposer une méthode qui convienne pour une exposition, des médiateurs et une variable d'intérêt binaire (46). Ils prennent le parti de définir les effets direct et indirect de la façon suivante :

$$DE = E\left(Y_{1W_0M_0W_0}\right) - E(Y_0)$$

$$IE = E(Y_1) - E(Y_{1W_0M_0W_0})$$

Ainsi, on a seulement des effets qui sont identifiables à calculer puisque  $a_{12} = a_1$ . Dans ce cas, on calcule donc les effets qui passent par les deux médiateurs simultanément et non chaque chemin distinct.

### 3.2.2.3.3 Méthode d'estimation de VanderWeele et al. (Janvier 2014)

L'approche proposée se base sur deux modèles sur Y et A (46). On obtient les estimations de  $E(Y|A = a, W, M, L)$  pour les individus avec une exposition  $A = a^*$  et de  $\frac{P(A)}{P(A|C)}$ .

A partir de ces estimations, les auteurs proposent de calculer  $E(Y_{aW_{a^*}M_{a^*}})$  en faisant la somme des  $E(Y|A = a, W, M, L)$  pondérés par  $\frac{P(A=a^*)}{P(A=a^*|C)}$  sur les individus avec  $A = a^*$ .

Cette approche semble sous-optimale puisqu'elle se base sur une partie de la population seulement. Les hypothèses nécessaires à l'identifiabilité des effets ne sont pas explicitées clairement et nous n'avons pas trouvé d'applications de cette méthode dans la littérature. La méthode proposée recoupe ce qui est proposé dans une autre publication dans le cas d'un médiateur (42).

L'exemple de code proposé dans le cas binaire porte sur le cas d'un seul médiateur binaire mais est facilement généralisable pour plusieurs médiateurs).

### 3.3 Modèles d'équations structurelles

Les modèles à équations structurelles sont consistant en un ensemble de régression avec potentiellement des variables latentes. Dans ces régressions, certaines variables peuvent être alternativement prédictes ou à expliquer. Les liens entre les différentes variables sont souvent représentés dans des schémas

Par rapport aux modèles précédents, il n'est plus question de s'intéresser à l'estimation la plus exact des effets causaux mais plutôt d'avoir une vision globale des liens entre les variables étudiées (la « structure » des données). Les schémas correspondants aux analyses structurelles ne sont pas exactement des DAGs puisqu'ils ont pour objectif de figurer les équations vérifiées dans le modèle. Leurs différences principales sont que, d'une part, les schémas structurels permettent les doubles flèches pour modéliser les corrélations et indique les erreurs comme étant des causes de certains facteurs.

#### 3.3.1 Cas de variables continues

Les modèles à équations structurelles ont été initialement implémentés pour des variables continues (49,50).

Dans notre cas, il n'y aura pas de variables latentes dans les modèles structurels. Ces méthodes sont classiques et la littérature est abondante sur le sujet. Le lecteur peut éventuellement se reporter à ces articles pour le détail des calculs utilisés (50,51). L'idée générale est de tirer des corrélations sur les données les estimations des effets de chaque flèche.

De même que pour les analyses précédentes avec les DAGs/effets causaux, il est difficile de parler de causalité dans ce genre d'analyse. La différence avec les méthodologies précédentes est que le modèle structurel n'a pas vocation à estimer des effets causaux.

#### 3.3.2 Cas des variables binaires

Si on utilise les modèles précédents avec des variables binaires, on suppose que les distributions sont normales, ce qui est faux. En pratique, cela pose un problème d'estimation pour les intervalles de confiance des paramètres mais pas sur les estimations en elle-même des paramètres.

Différentes méthodes ont été développées pour prendre en compte les variables binaires (49). La méthode utilisée dans ce travail sera celle du package R `lavaan`, qui calcule les estimations comme dans le cas normal mais utilise une matrice de variance-covariance adaptée aux données binaires (52).

## **4 Mise en pratique dans le contexte des TMS**

Les analyses ont été effectuées sur les TMS au niveau du coude uniquement. En effet, les facteurs organisationnels et psycho-sociaux sont peu corrélés avec les TMS au niveau du genou.

Les TMS au niveau du coude seront étudiés dans deux populations d'étude : une population d'actifs (réseau de surveillance épidémiologique des TMS) et une population de retraités (GAZEL) au moment de l'évaluation des TMS.

### **4.1 Populations d'études**

#### **4.1.1 Réseau pilote de surveillance épidémiologique des TMS (R3)**

Un réseau pilote de surveillance épidémiologique des TMS a été mis en place en 2002 pour une période de trois ans dans la région des Pays de la Loire. Les objectifs de cette étude étaient de fournir une description de la prévalence des principaux TMS par secteur d'activité et profession, ainsi qu'une description de l'exposition aux facteurs de risque de ces pathologies. Cette surveillance s'effectuait via des médecins du travail volontaires, à l'occasion de la visite médicale périodique des salariés.

3710 salariés ont été inclus entre 2002 et 2004. On dispose de données provenant d'un examen clinique effectué lors de la visite médicale du travail obligatoire et d'un auto-questionnaire rempli à cette occasion par le salarié.

L'auto-questionnaire permettait de recueillir des données sociodémographiques, comme l'âge, le sexe et l'indice de masse corporelle. Tout d'abord, des données concernant les formes d'organisation du travail sont disponibles, en particulier le rythme de travail (par le déplacement d'un produit ou d'une pièce, la cadence automatique d'une machine, par des normes de productions ou par des délais à respecter ou par d'autres contraintes techniques). On y trouve également la description des facteurs professionnels psychosociaux biomécaniques par le questionnaire de Karasek. A partir de ce questionnaire, trois dimensions psycho-sociales ont été calculées : la demande psychologique (en termes de quantité et de complexité des tâches, et de contraintes temporelles), la latitude décisionnelle (en terme d'autonomie décisionnelle et d'utilisation des compétences) et le soutien social (en terme d'aide et de reconnaissance des collègues et des supérieurs hiérarchiques) (53). Chacune des dimensions a été dichotomisées entre un niveau faible (en dessous de la médiane de l'étude SUMER) et un niveau fort (au-dessus de la médiane de l'étude SUMER) (54). De plus, de nombreux facteurs professionnels biomécaniques sont disponibles, avec pour la plupart des questions en 4 classes sur la durée d'exposition (Jamais, moins de 2 heures par jour, 2 à 4 heures par jour, plus de 4 heures par jour) qui sont dichotomisées. On considère dans ce travail la notion de tâches répétitives (plus de 4 heures par jour), de flexion/extension des coudes (plus de 2 heures par jour) et de torsion du poignet (plus de 2 heures par jour). Une échelle d'effort physique au travail (échelle de Borg) est également disponible et est dichotomisée en travail fatiguant à épuisant (15 à 20) contre travail peu fatiguant (7 à

14). Une exposition combinée a été créée qui indique un effort important au travail (15 à 20) combiné à des mouvements répétitifs aux coudes (flexion/extension aux coudes ou torsion aux poignets plus de 2 heures/jour). Ces facteurs sont choisis car ils ont été trouvés dans deux analyses sur les douleurs aux coudes dans ces données (55,56).

Durant l'examen clinique, le médecin du travail évaluait l'existence de 9 troubles musculo-squelettiques avec les critères diagnostics de Sluiter (57) (syndrome de la coiffe des rotateurs, épicondylites latérales, syndrome du tunnel cubital, syndrome du canal carpien, tendinite des fléchisseurs/extenseur de l'avant-bras, ténosynovite de De Quervain, phénomène de Raynaud, maladie de Dupuytren, hygroma du genou).

Dans cet exemple, on étudiera la présence de douleurs aux coudes ou d'épicondylites latérales à l'examen clinique (appelées douleurs aux coudes dans la suite).

#### **4.1.2 Cohorte GAZEL**

GAZEL est une cohorte française à visée généraliste. 20625 employés d'EDF-GDF volontaires ont été recrutés en 1989 pour remplir chaque année un questionnaire avec des données sociodémographiques et de santé (58).

En 1999, les volontaires ont rempli un questionnaire de Karasek sur les risques psycho-sociaux (53). De même que pour les données précédentes, on en tire trois scores psycho-sociaux : la demande psychologique, la latitude décisionnelle et le soutien social. Chacune des dimensions a été dichotomisées entre un niveau faible (en dessous de la médiane de la population) et un niveau fort (au-dessus de la médiane).

En 2007, un auto-questionnaire comprenait des questions rétrospectives sur l'ensemble de la carrière sur le nombre d'années d'exposition aux contraintes professionnelles, en particulier le port de charge et le travail les bras en l'air. Le nombre d'années a été considéré en quatre classes pour les analyses descriptives (0 an, 1 à 10 ans, 10 ans et plus, donnée manquante) puis en deux classes pour les analyses de médiation en exposé Oui/Non (Non si donnée manquante).

De plus, chaque année, pour les volontaires actifs, deux questions portent sur le niveau de fatigue dû au travail, physique ou psychique, en 8 classes, de « pas du tout » à « très » fatigant. Ces deux variables ont été considérées en 2 classes : au moins une déclaration de travail fatigant (5 à 8) entre 2000 et 2006 et aucune déclaration de travail fatigant entre 2000 et 2006.

En 2012, des questions sur les douleurs sont posées sur la base du questionnaire Nordique (22). Dans cet exemple, on étudiera la présence de problèmes aux coudes dans les 12 derniers mois (courbatures, douleurs, gêne, engourdissement).

La population d'étude se compose des 11452 volontaires ayant répondu en 1999, en 2007 et en 2012.  
En 2012, tous les participants sont retraités.

## 4.2 Analyses univariées

### 4.2.1 Dans R3

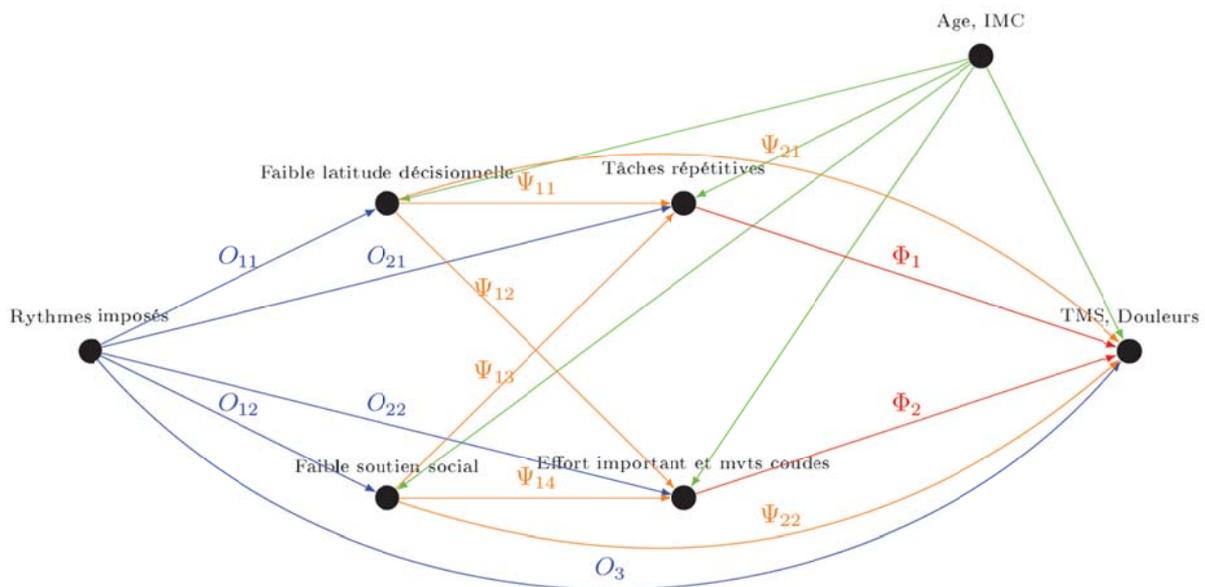
#### 4.2.1.1 Exploration des données et hypothèses de travail

On dispose de trois niveaux de facteurs : organisationnels, psycho-sociaux et physiques.

	Pas de douleurs	Douleurs	Total
<b>Rythme de travail imposé (p=0.0003)</b>			
Non / DM	1454 ( 45.00%)	170 ( 35.49%)	1624 ( 43.77%)
Oui	1777 ( 55.00%)	309 ( 64.51%)	2086 ( 56.23%)
<b>Fort demande psychologique (p=0.0539)</b>			
Non / DM	1659 ( 51.35%)	236 ( 49.27%)	1895 ( 51.08%)
Oui	1572 ( 48.65%)	243 ( 50.73%)	1815 ( 48.92%)
<b>Faible latitude décisionnelle (p=0.5897)</b>			
Non / DM	1582 ( 48.96%)	216 ( 45.09%)	1798 ( 48.46%)
Oui	1649 ( 51.04%)	263 ( 54.91%)	1912 ( 51.54%)
<b>Faible soutien social (p=0.0720)</b>			
Non / DM	2031 ( 62.86%)	271 ( 56.58%)	2302 ( 62.05%)
Oui	1200 ( 37.14%)	208 ( 43.42%)	1408 ( 37.95%)
<b>Tache répétitives &gt;4h/j (p=&lt;.0001)</b>			
Non	2435 ( 75.36%)	317 ( 66.18%)	2752 ( 74.18%)
Oui	796 ( 24.64%)	162 ( 33.82%)	958 ( 25.82%)
<b>Borg &gt;=15 (p=&lt;.0001)</b>			
Non/DM	1669 ( 51.66%)	185 ( 38.62%)	1854 ( 49.97%)
Oui	1562 ( 48.34%)	294 ( 61.38%)	1856 ( 50.03%)
<b>Fléchir les coudes &gt;2h/j (p=&lt;.0001)</b>			
Non/DM	2220 ( 68.71%)	276 ( 57.62%)	2496 ( 67.28%)
Oui	1011 ( 31.29%)	203 ( 42.38%)	1214 ( 32.72%)
<b>Tordre les poignets &gt;2h/j (p=&lt;.0001)</b>			
Non/DM	2200 ( 68.09%)	274 ( 57.20%)	2474 ( 66.68%)
Oui	1031 ( 31.91%)	205 ( 42.80%)	1236 ( 33.32%)
<b>Effort important+ flexion ou torsion (p=&lt;.0001)</b>			
Non/DM	2286 ( 70.75%)	266 ( 55.53%)	2552 ( 68.79%)
Oui	945 ( 29.25%)	213 ( 44.47%)	1158 ( 31.21%)
<b>Total</b>	<b>3231</b>	<b>479</b>	<b>3710</b>

Parmi les facteurs biomécaniques, on se concentre sur l'effort important combiné avec des mouvements aux coudes et les tâches répétitives.

Ainsi, on suppose que le schéma causal suivant est vérifié :



On s'intéressera aux effets directs et indirects de différents facteurs :

- des rythmes de travail imposés (passant par les facteurs psychosociaux et biomécaniques),
- de la faible latitude décisionnelle (passant par les facteurs biomécaniques),
- du faible soutien social (passant par les facteurs biomécaniques).

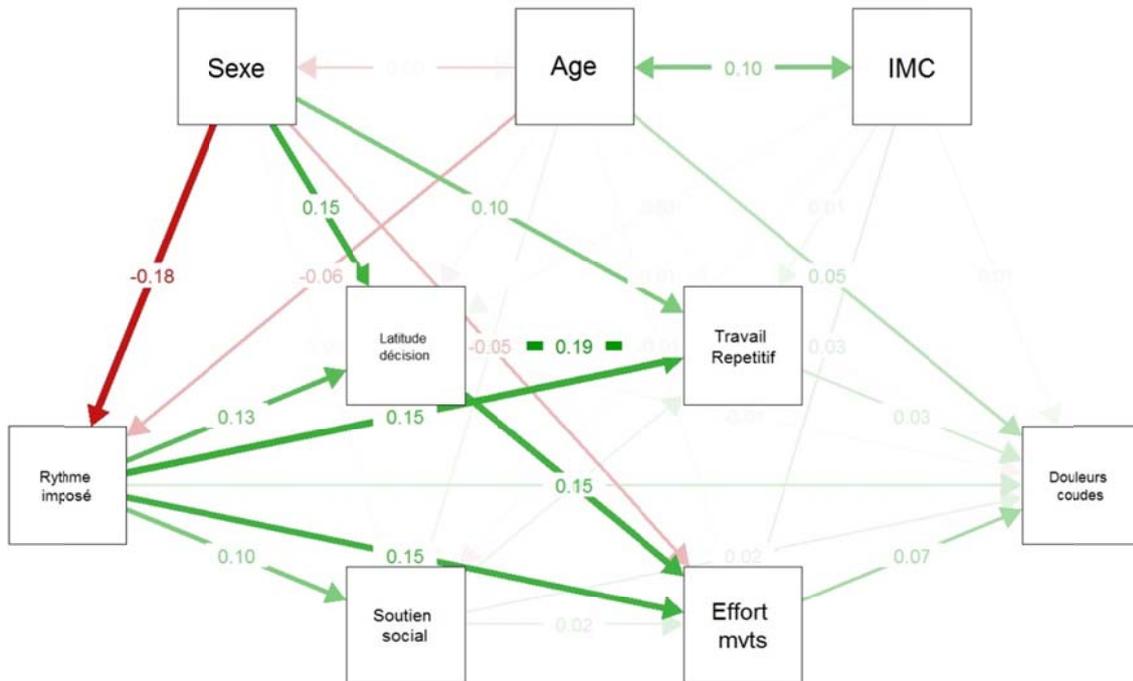
Les effets indirects des rythmes de travail imposés incluent deux niveaux de médiateurs et les analyses associées seront plus complexes. La faible latitude décisionnelle et le faible soutien social seront plus simples à calculer car ils n'incluent qu'un niveau de médiateur.

Avec l'analyse par équations structurelles, on pourra détailler l'effet de chaque chemin, en particulier pour le rythme de travail imposé, de chaque chemin indirect. Avec l'analyse de médiateurs avec les contrefactuels, il sera possible d'étudier uniquement l'effet indirect global.

L'analyse par équations structurelles évalue simultanément tous les effets et donc sera en mesure avec une analyse de fournir les effets directs et indirects souhaités (avec toutes les réserves vues dans la partie méthodologique). Les analyses avec contrefactuels fonctionnent avec des modèles différents selon l'objectif d'analyse.

#### 4.2.1.2 Analyse par les modèles à équations structurelles

Le graphique montre la valeur des effets sur chaque flèche. Les flèches en rouge sont les effets négatifs et en vert les effets positifs. Plus la flèche est épaisse, plus le trait est gros. On voit très facilement l'intérêt de prendre en compte correctement l'ensemble des variables professionnelles à différents niveaux (organisationnel, psycho-social et biomécanique) car ses variables sont prédictrices les unes des autres.



Le tableau suivant montre les résultats de tous les modèles avec les p-values et les intervalles de confiance correspondants.

Variable à prédire	Covariables	Estimateur	IC à 95%		P-value
<b>Douleurs aux coudes</b>	Rythme de travail imposé	0.032	0.009	0.054	0.0070
	Faible soutien social	0.020	-0.003	0.043	0.0846
	Faible latitude décisionnelle	-0.008	-0.030	0.014	0.4814
	Travail répétitif	0.033	0.004	0.061	0.0259
	Effort et mvts coudes	0.068	0.042	0.095	<0.0001
	Age	0.053	0.038	0.067	<0.0001
	Sexe	0.008	-0.015	0.030	0.4950
	IMC	0.010	-0.008	0.027	0.2883
<b>Travail répétitif</b>	Rythme de travail imposé	0.152	0.124	0.179	<0.0001
	Faible soutien social	0.017	-0.012	0.045	0.2463
	Faible latitude décisionnelle	0.193	0.166	0.220	<0.0001
	Age	-0.003	-0.022	0.016	0.7418
	Sexe	0.098	0.070	0.127	<0.0001
	IMC	0.012	-0.010	0.034	0.2957
<b>Effort important et mouvements aux coudes</b>	Rythme de travail imposé	0.146	0.116	0.176	<0.0001
	Faible soutien social	0.024	-0.007	0.055	0.1250
	Faible latitude décisionnelle	0.145	0.116	0.175	<0.0001
	Age	-0.005	-0.026	0.015	0.6048
	Sexe	-0.053	-0.083	-0.023	0.0005
	IMC	0.025	0.001	0.049	0.0404
<b>Faible latitude décisionnelle</b>	Rythme de travail imposé	0.127	0.095	0.160	<0.0001
	Age	-0.008	-0.030	0.014	0.4854
	Sexe	0.148	0.115	0.180	<0.0001
	IMC	0.009	-0.016	0.034	0.4739
<b>Faible soutien social</b>	Rythme de travail imposé	0.099	0.067	0.130	<0.0001
	Age	0.016	-0.006	0.037	0.1515
	Sexe	-0.005	-0.037	0.028	0.7831
	IMC	-0.007	-0.032	0.017	0.5589
<b>Rythme de travail imposé</b>	Age	-0.057	-0.078	-0.035	<0.0001
	Sexe	-0.178	-0.210	-0.145	<0.0001
	IMC	0.000	-0.025	0.026	0.9857

#### 4.2.1.2.1 Effets directs et indirects des rythmes de travail sur les douleurs aux coudes

De ces estimations, on peut tirer les effets directs et indirects des rythmes de travail imposés sur les douleurs aux coudes. Voici les résultats pour chaque chemin :

Chemin Rythme imposé -> douleurs par	Effet			% effet total			% effet indirect		
	Valeur	IC à 95%		Valeur	IC à 95%		Valeur	IC à 95%	
Faible latitude décisionnelle	-0.00101	-0.00383	0.00181	-2.03%	-7.81%	3.75%	-5.56%	-21.70%	10.59%
Faible lat décisionnelle -> répétitives	0.00080	0.00005	0.00155	1.61%	-0.04%	3.26%	4.41%	1.23%	7.59%
Faible lat décisionnelle -> Effort mvts coudes	0.00126	0.00063	0.00190	2.54%	0.81%	4.27%	6.96%	3.62%	10.31%
Faible soutien social	0.00197	-0.00037	0.00430	3.96%	-0.97%	8.88%	10.84%	-1.28%	22.95%
Faible soutien social -> Tâches répétitives	0.00005	-0.00005	0.00016	0.11%	-0.11%	0.33%	0.30%	-0.25%	0.85%
Faible soutien social -> Effort mvts coudes	0.00016	-0.00006	0.00038	0.33%	-0.15%	0.80%	0.89%	-0.32%	2.11%
Tâches répétitives	0.00495	0.00050	0.00939	9.95%	0.11%	19.80%	27.26%	9.13%	45.38%
Effort important et mvts aux coudes	0.00996	0.00564	0.01428	20.05%	7.73%	32.36%	54.89%	35.31%	74.48%
Indirect total	0.01815	0.00995	0.02634	36.52%	14.08%	58.96%			
Direct	0.03154	0.00860	0.05448	63.48%	41.04%	85.92%			
Total	0.04968	0.02785	0.07151						

On voit que 36.5% [14.1% ;59.0%] de l'effet des rythmes de travail sur les douleurs aux coudes est médié par des facteurs professionnels psychosociaux et biomécaniques. Parmi ces effets indirects, ce qui semble jouer le plus sont les facteurs biomécaniques : les efforts importants combinés aux mouvements aux coudes représentent 54.9% [35.3% ;74.5%] des effets indirects et les tâches répétitives 27.3% [9.1% ;74.5%].

#### 4.2.1.2.2 Effets directs et indirects de la latitude décisionnelle

De la même façon que pour les calculs précédents, on estime les effets directs et indirects de la latitude décisionnelle.

Chemin Faible latitude -> douleurs par	Valeur	Effet		
		IC à 95%		p-value
Répétition	0.00629	0.00066	0.01193	0.0286
Effort important et mvts aux coudes	0.00993	0.00557	0.01429	<0.0001
Indirect total	0.01622	0.00831	0.02413	0.0001
Direct	-0.00792	-0.02997	0.01413	0.4814
Total	0.00830	-0.01320	0.02980	0.4494

Ici, on ne calcule pas les différents pourcentages d'effet médié puisque l'effet direct de la faible latitude décisionnelle sur les douleurs est négatif (c'est-à-dire que ceux qui ont une faible latitude décisionnelle seule ont moins de douleurs) tandis que l'effet indirect est positif (c'est-à-dire que ceux qui ont une faible latitude décisionnelle et des facteurs biomécaniques ont plus de douleurs). L'effet global de la latitude décisionnelle sur les douleurs est positif.

Il est possible que ces effets dans des sens opposés soient dû à des interactions entre ces effets.

#### 4.2.1.2.3 Effets directs et indirects du soutien social

Chemin Faible soutien social -> douleurs par	Effet		% effet total		% effet indirect				
	Valeur	IC à 95%	Valeur	IC à 95%	Valeur	IC à 95%			
Répétition	0.00055	-0.00050	0.00160	2.49%	-2.82%	7.79%	25.12%	-13.85%	64.09%
Effort important et mvts aux coudes	0.00164	-0.00056	0.00384	7.41%	-4.51%	19.34%	74.88%	35.91%	113.85%
Indirect total	0.00219	-0.00045	0.00483	7.47%	-4.47%	19.41%			
Direct	0.01994	-0.00272	0.04260	90.10%	75.17%	105.02%			
Total	0.02213	-0.00063	0.04488						

Les effets totaux, direct et indirect du faible ne sont pas significatifs à 5% (significatifs à 10%). L'effet du faible soutien social semble médié à 7.5% [-4.5% ;19.4%] par les facteurs biomécaniques.

#### 4.2.1.3 Analyse par la méthode des contrefactuels

On effectue maintenant l'analyse par pondération proposée par VanderWeele, qui considère tous les chemins indirects possibles simultanément. Autrement dit, on aura seulement l'effet indirect global. Les intervalles de confiance sont calculés par bootstrap (percentile 10000 itérations).

##### 4.2.1.3.1 Effets directs et indirects des rythmes de travail

On calcule les différents contrefactuels et les effets d'intérêt :

	Valeurs moyennes			% de l'effet total		
	Estimation	IC à 95%		Estimation	IC à 95%	
<b>Indirect</b>	0.01790	0.01118	0.02497	35.5%	21.0%	62.9%
<b>Direct</b>	0.03254	0.01136	0.05365	64.5%	37.1%	79.0%
<b>Total</b>	0.05044	0.02860	0.07184			

Bien que les hypothèses effectuées dans les modèles sont différentes, on trouve des valeurs similaires dans l'analyse avec les contrefactuels et dans l'analyse avec équations structurelles (et des intervalles de confiance comparables).

Dans un deuxième temps on fait une analyse où des interactions significatives à 20% sont incluses entre les différents facteurs professionnels sur les douleurs (ce qui n'est pas possible dans l'analyse par équations structurelles). Les pourcentages d'effets médiés varient un peu avec ces interactions.

	Valeurs moyennes			% de l'effet total		
	Estimation	IC à 95%		Estimation	IC à 95%	
<b>Indirect</b>	0.01538	0.00808	0.02295	30.6%	15.7%	57.0%
<b>Direct</b>	0.03496	0.01320	0.05631	69.4%	42.9%	84.3%
<b>Total</b>	0.05034	0.02870	0.07159			

##### 4.2.1.3.2 Effets directs et indirects de la latitude décisionnelle

Le tableau suivant présente les résultats du modèle sans interaction (donc identique au modèle à équations structurelles).

	Valeurs moyennes		
	Estimation	IC à 95%	
<b>Indirect</b>	0.01978	0.0126	0.0272
<b>Direct</b>	-0.00647	-0.0272	0.0140
<b>Total</b>	0.01331	-0.0085	0.0345

On ne calcule pas les pourcentages de médiation car les effets ne vont pas dans le même sens (effet direct protecteur et effet indirect délétère).

De même que pour l'analyse précédente, on ajoute les interactions significatives à 20%. Les résultats sont similaires.

<b>Valeurs moyennes</b>			
	<b>Estimation</b>	<b>IC à 95%</b>	
<b>Indirect</b>	0.02548	0.0171	0.0342
<b>Direct</b>	-0.01216	-0.0334	0.0086
<b>Total</b>	0.01332	-0.0086	0.0346

#### 4.2.1.3.3 Effets directs et indirects du soutien social

Le tableau suivant présente les résultats du modèle sans interaction (donc identique au modèle à équations structurelles).

	<b>Valeurs moyennes</b>			<b>% de l'effet total</b>		
	<b>Estimation</b>	<b>IC à 95%</b>		<b>Estimation</b>	<b>IC à 95%</b>	
<b>Direct</b>	0.02155	-0.00092	0.04333	88.0%	-40.0%	124.2%
<b>Indirect</b>	0.00293	-0.00254	0.00809	12.0%	-24.2%	140.0%
<b>Total</b>	0.02448	0.00163	0.04813			

A nouveau, on présente le modèle avec des interactions entre les covariables et entre le soutien social et la latitude décisionnelle.

	<b>Valeurs moyennes</b>			<b>% de l'effet total</b>		
	<b>Estimation</b>	<b>IC à 95%</b>		<b>Estimation</b>	<b>IC à 95%</b>	
<b>Direct</b>	0.01659	-0.00644	0.03936	67.8%	-53.9%	111.9%
<b>Indirect</b>	0.00787	0.00059	0.01577	32.2%	-11.9%	153.9%
<b>Total</b>	0.02447	0.00146	0.04631			

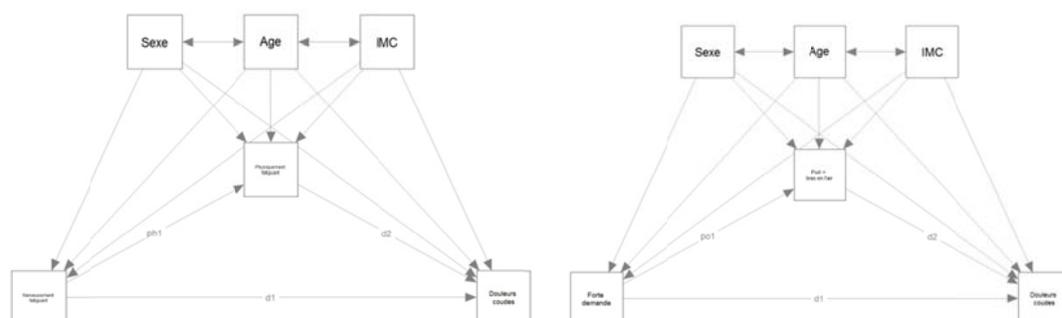
Les résultats sur le modèle sans interactions sont similaires aux résultats obtenus dans le modèle à équations structurelles. Cependant, l'ajout des interactions significatives dans le modèle pour les douleurs de coude change les résultats obtenus sur les effets directs et indirects (la part médiée semble beaucoup plus importante). Ce résultat est à modérer par la taille très importante des intervalles de confiance.

## 4.2.2 Dans GAZEL

En 2012			
	Pas de douleurs aux coudes	Douleurs aux coudes	Total
<b>Sexe (p=0.0043)</b>			
1	7528 ( 75.72%)	1092 ( 72.32%)	8620 ( 75.27%)
2	2414 ( 24.28%)	418 ( 27.68%)	2832 ( 24.73%)
<b>IMC en classes (p=0.7730)</b>			
Sous-poids	48 ( 0.48%)	8 ( 0.53%)	56 ( 0.49%)
Normal	4539 ( 45.65%)	672 ( 44.50%)	5211 ( 45.50%)
Surpoids	4504 ( 45.30%)	705 ( 46.69%)	5209 ( 45.49%)
Obésité	851 ( 8.56%)	125 ( 8.28%)	976 ( 8.52%)
<b>Travail nerveusement fatiguant (p=0.0004)</b>			
Non	6227 ( 62.63%)	874 ( 57.88%)	7101 ( 62.01%)
Oui	3715 ( 37.37%)	636 ( 42.12%)	4351 ( 37.99%)
<b>Faible soutien social (p=0.0201)</b>			
Non	171 ( 1.72%)	41 ( 2.72%)	212 ( 1.85%)
Oui	8274 ( 83.22%)	1256 ( 83.18%)	9530 ( 83.22%)
99	1497 ( 15.06%)	213 ( 14.11%)	1710 ( 14.93%)
<b>Faible latitude décisionnelle (p=0.4024)</b>			
Non	4782 ( 48.10%)	738 ( 48.87%)	5520 ( 48.20%)
Oui	3768 ( 37.90%)	580 ( 38.41%)	4348 ( 37.97%)
99	1392 ( 14.00%)	192 ( 12.72%)	1584 ( 13.83%)
<b>Demande psychologique forte (p=&lt;.0001)</b>			
Non	5109 ( 51.39%)	687 ( 45.50%)	5796 ( 50.61%)
Oui	3453 ( 34.73%)	633 ( 41.92%)	4086 ( 35.68%)
99	1380 ( 13.88%)	190 ( 12.58%)	1570 ( 13.71%)
<b>Travail physiquement fatiguant (p=0.0010)</b>			
Non	8275 ( 83.23%)	1205 ( 79.80%)	9480 ( 82.78%)
Oui	1667 ( 16.77%)	305 ( 20.20%)	1972 ( 17.22%)
<b>Porter ou déplacer des charges lourdes (p=&lt;.0001)</b>			
DM	102 ( 1.03%)	10 ( 0.66%)	112 ( 0.98%)
Jamais	7900 ( 79.46%)	1121 ( 74.24%)	9021 ( 78.77%)
1 à 10 ans	487 ( 4.90%)	103 ( 6.82%)	590 ( 5.15%)
10 ans et plus	1453 ( 14.61%)	276 ( 18.28%)	1729 ( 15.10%)
<b>Travailler bras en l'air (p=0.0001)</b>			
DM	576 ( 5.79%)	75 ( 4.97%)	651 ( 5.68%)
Jamais	7508 ( 75.52%)	1081 ( 71.59%)	8589 ( 75.00%)
1 à 10 ans	448 ( 4.51%)	92 ( 6.09%)	540 ( 4.72%)
10 ans et plus	1410 ( 14.18%)	262 ( 17.35%)	1672 ( 14.60%)
<b>Total</b>	<b>9942</b>	<b>1510</b>	<b>11452</b>

Au vu de ces résultats, on va s'intéresser à la forte demande psychologique, le travail nerveusement et physiquement fatiguant et le port/déplacement de charges lourdes.

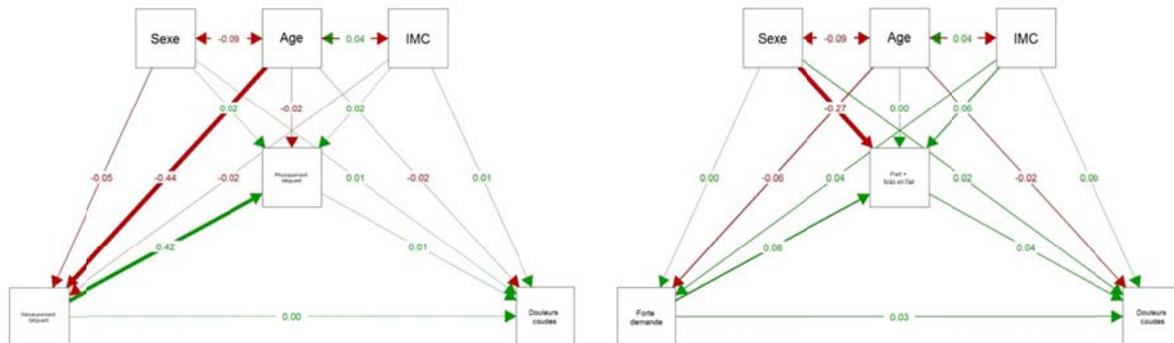
On suppose que la forte demande psychologique est une composante plus spécifique que le travail nerveusement fatiguant, de même que le port/déplacement de charges lourdes est une composante plus spécifique que le travail physiquement fatiguant. Ainsi, on supposera deux modèles distincts : un spécifique aux coudes et un général.



Comme dans les analyses précédentes, on propose de regarder les effets directs et indirects par deux méthodes : les équations structurelles et les analyses par contrefactuels.

#### 4.2.2.1 Analyse par les modèles à équations structurelles

Les résultats du modèle à équations structurelles sont figurés dans le graphique ci-dessous. Certains liens entre les covariables sont importants, comme entre le travail physiquement fatiguant et nerveusement fatiguant.



##### 4.2.2.1.1 Effets direct et indirect de la forte demande psychologique

Chemin Demande psychologique -> douleurs par	Effet			% effet total		
	Valeur	IC à 95%		Valeur	IC à 95%	
Indirect	0.0031	0.0017	0.0045	9.26%	3.75%	14.77%
Direct	0.0305	0.0171	0.0439	90.74%	85.23%	96.25%
<b>Total</b>	<b>0.0336</b>	<b>0.0202</b>	<b>0.0469</b>			

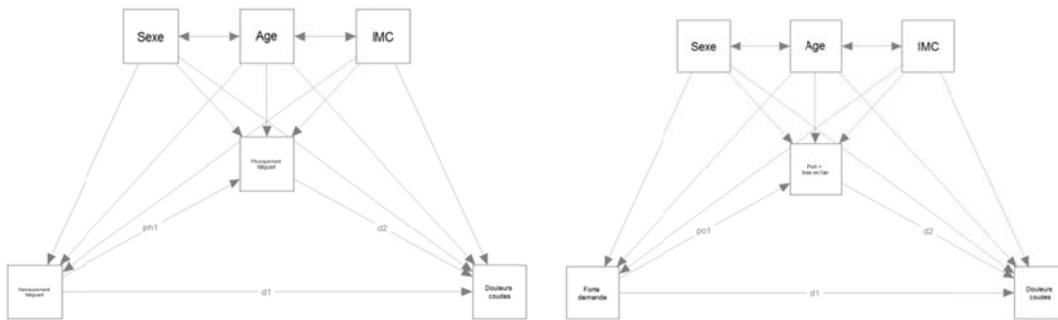
On estime à 9.2% [3.7% ;14.8%] l'effet de la demande psychologique qui passe par le facteur biomécanique considéré.

##### 4.2.2.1.2 Effets direct et indirect du travail nerveusement fatiguant

Chemin travail psychologiquement fatiguant-> douleurs par	Effet			% effet total		
	Valeur	IC à 95%		Valeur	IC à 95%	
Indirect	0.0059	-0.0027	0.0144	56.79%	-57.53%	171.11%
Direct	0.0045	-0.0124	0.0213	43.21%	-71.11%	157.53%
<b>Total</b>	<b>0.0103</b>	<b>-0.0046</b>	<b>0.0252</b>			

Les effets ne sont pas significatifs conditionnellement au sexe, à l'âge et à l'IMC. On ne peut conclure sur les effets directs et indirects.

#### 4.2.2.2 Analyse par la méthode des contrefactuels



##### 4.2.2.2.1 Effets direct et indirect de la forte demande psychologique

Chemin Demande psychologique -> douleurs par	Effet			% effet total		
	Valeur	IC à 95%		Valeur	IC à 95%	
Indirect	0.00352	0.00212	0.00514	10.4%	5.7%	18.5%
Direct	0.03016	0.01721	0.04324	89.6%	81.5%	94.3%
<b>Total</b>	<b>0.03368</b>	<b>0.02042</b>	<b>0.04717</b>			

Les résultats obtenus sont identiques à ceux trouvés par l'autre méthodologie : environ 10% de l'effet de la forte demande psychologique passe par le port de charge combiné aux bras en l'air.

##### 4.2.2.2.2 Effets direct et indirect du travail nerveusement fatiguant

Chemin travail psychologiquement fatiguant-> douleurs par	Effet			% effet total		
	Valeur	IC à 95%		Valeur	IC à 95%	
Indirect	0.00564	-0.0104	0.02324	50.7%	-435.5%	356.2%
Direct	0.00581	-0.0023	0.01462	49.3%	-256.2%	535.5%
<b>Total</b>	<b>0.01145</b>	<b>-0.0029</b>	<b>0.02601</b>			

Les résultats obtenus sont à nouveau non significatifs.

## 5 Conclusion

Ce travail a permis de mettre en évidence les liens qui existent non seulement entre les facteurs professionnels et les TMS mais aussi entre les différents types de facteurs entre eux (organisationnels, psycho-sociaux et biomécaniques). Ainsi, il a été mis en évidence qu'une approche plus globale des facteurs professionnels est bénéfique à la compréhension générale des mécanismes d'action de ces facteurs, en mettant en évidence la part de chacun des facteurs dans les effets sur les TMS. Plus précisément, dans le cas des douleurs de coudes, il a été mis en évidence que l'effet du facteur organisationnel « rythme de travail imposé » est expliqué à environ 35% par des facteurs psycho-sociaux et biomécaniques. De même, l'effet des facteurs psychosociaux sur les douleurs aux coudes s'expliquent :

- à une hauteur de 10% à 30% (selon la modélisation utilisée) pour le soutien social dans la population active des Pays de la Loire (R3)
- à une hauteur de 9% pour la forte demande psychologique dans la population retraitée de EDF-GDF (GAZEL)

Dans le cas des douleurs aux coudes et des facteurs professionnels considérées, les facteurs intermédiaires jouent un rôle non négligeable dans les relations observées. Ces éléments sont indispensables à prendre en compte pour des interventions en santé au travail afin d'évaluer l'impact d'une intervention sur les facteurs organisationnels, psycho-sociaux ou biomécaniques. En effet, une intervention sur un type de facteur va potentiellement uniquement influencer l'effet direct de ce facteur.

Selon la population utilisée, les facteurs psycho-sociaux qui ressortaient dans les analyses pour les douleurs aux coudes n'étaient pas les mêmes (la faible latitude décisionnelle pour les actifs de R3 et la forte demande psychologique pour les retraités de Gazel). Ces différences peuvent être dû aux plans d'études très distincts entre les deux études : dans R3, on se place en transversal sur l'effet court terme des facteurs professionnels et dans Gazel, on se place en longitudinal avec des effets long-terme des expositions (avec des expositions mesurées entre 5 et 10 ans avant la mesure des douleurs). Ainsi, il est tout à fait envisageable que les facteurs professionnels aient des effets différents à court terme ou à long terme selon leur nature. Ces différences n'ont pas permis de comparer les effets médiés dans des populations différentes. Cependant, on constate que la part des facteurs psycho-sociaux médiée par les facteurs biomécaniques est assez similaire entre les deux études (environ 10%).

Cette étude a été limitée par plusieurs éléments sur les données. L'étude sur les actifs de r3 était transversale ne permettait donc pas de conclure à des notions de causalité ; cependant, il disposait d'éléments sur les facteurs organisationnels, ce qui est très rare. L'étude sur les retraités de Gazel avait des données qui présentaient une bonne séquence dans le temps (même si les mesures étaient parfois un peu éloignées entre elles) mais manquait de précision sur les facteurs organisationnels et biomécaniques. Ces études doivent être vues comme exploratoires et ont pour objectif de donner des éléments de cadrage pour des études ultérieures.

Ce travail a également montré les limites des méthodologies disponibles pour l'étude des multiples médiations dans le cadre de la santé au travail. D'une part, la plupart des variables considérées dans cette étude étaient de natures binaires ou catégorielles. Les analyses de médiation ayant été initialement créées pour des variables continues, les méthodologies pour les variables catégorielles

avec plusieurs médiateurs sont peu nombreuses (46). Une première solution est d'utiliser les analyses par équations structurelles pour données continues mais avec des intervalles de confiance adaptés aux données catégorielles (49). L'avantage est que tous les chemins indirects peuvent être estimés simplement mais l'inconvénient est que cette modélisation ne permet pas l'ajout d'interactions. Une deuxième solution consiste à utiliser les méthodes de pondération proposées par VanderWeele dans un article de 2014 (46), qui ont pour avantage de modéliser correctement les variables considérées (avec des interactions au besoin) mais ne peut pas détailler les différents chemins de médiation. De plus, cette deuxième méthode n'est pas implémentée et nécessite donc des connaissances en programmation (peut être programmé en SAS). D'autre part, le problème des facteurs de médiation qui varient au cours du temps n'est pas résolu. Dans le cas d'une analyse de médiation sur des facteurs professionnels à différents niveaux, on sait que ces facteurs professionnels varient au cours du temps et que cette variation peut dépendre de facteurs de santé. Le sujet de médiateurs qui dépendent du temps est apparu très récemment dans la littérature et est très loin d'être implémenté en pratique (59). Ce problème n'a pas été exploré ici puisque les données ne le permettaient pas (pas de répétition pour toutes les mesures professionnelles dans GAZEL et une seule phase de mesure a été considérée dans R3). Cependant, le développement de cohorte à grande échelle va permettre d'accéder à des données répétées au cours du temps et les méthodologies correspondantes sont pour l'instant inexistantes.

Pour conclure, bien qu'il s'agisse ici d'ordres de grandeurs plus que d'estimations précises, la part de l'effet des facteurs organisationnels médiés par les autres facteurs professionnels (psycho-sociaux et biomécaniques) a été évaluée à 35% tandis que la part des facteurs psycho-sociaux médiés par les facteurs biomécaniques a été évaluée à 10%. Ce travail fournit une motivation supplémentaire pour le développement de méthodologies adaptées aux problèmes de multiples médiations qui varient au cours du temps avec des variables binaires et les implémentations adaptées.

## 6 Bibliographie

1. Plan Santé au Travail. 2005-2009. Ministère de l'Emploi, du Travail et de la Cohésion sociale. 2005;
2. Plan Santé au Travail 2. 2009-2012. Ministère de l'Emploi, du Travail et de la Cohésion sociale. 2005;
3. Imbernon E. Troubles musculo-squelettiques d'origine professionnelle en France. Où en est-on aujourd'hui ? BEH. 9 févr 2010;1.
4. Ministère du Travail. Décret n° 2011-354 du 30 mars 2011 relatif à la définition des facteurs de risques professionnels [Internet]. [cité 9 mai 2011]. Disponible sur: <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000023792126&dateTexte=&categorieLien=id>
5. Van Tulder M, Malmivaara A, Koes B. Repetitive strain injury. Lancet. 26 mai 2007;369(9575):1815-22.
6. Van Rijn RM, Huisstede BM, Koes BW, Burdorf A. Associations between work-related factors and the carpal tunnel syndrome--a systematic review. ScandJ Work EnvironHealth. janv 2009;35(1):19-36.
7. Van Rijn RM, Huisstede BM, Koes BW, Burdorf A. Associations between work-related factors and specific disorders at the elbow: a systematic literature review. Rheumatology(Oxford). mai 2009;48(5):528-36.
8. Van Rijn RM, Huisstede BM, Koes BW, Burdorf A. Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder - a systematic literature review. ScandJ Work EnvironHealth [Internet]. 22 janv 2010; Disponible sur: PM:20094690
9. Da Costa BR, Vieira ER. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. Am J Ind Med. mars 2010;53(3):285-323.
10. Coutarel F, Vezina N, Berthelette D, Aublet-Cuvelier A, Descatha A, Chassaing K, et al. Orientations pour l'évaluation des interventions visant la prévention des troubles musculo-squelettiques liés au travail. Pistes. 2009;11(2):e1-20.
11. Leyland AH, Groenewegen PP. Multilevel modelling and public health policy. Scand J Public Health. 2003;31(4):267-74.
12. Kristensen P. Inequalities in health, social causation and the role of occupation. Scand J Work Environ Health. août 2008;34(4):235-8.
13. Muntaner C, Li Y, Ng E, Benach J, Chung H. Work or place? Assessing the concurrent effects of workplace exploitation and area-of-residence economic inequality on individual health. Int J Health Serv. 2011;41(1):27-50.
14. Macdonald LA, Härenstam A, Warren ND, Punnett L. Incorporating work organisation into occupational health research: an invitation for dialogue. Occup Environ Med. janv 2008;65(1):1-3.

15. Buckle PW, Devereux JJ. The nature of work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders. *ApplErgon.* mai 2002;33(3):207-17.
16. Bongers PM, Ijmker S, van den HS, Blatter BM. Epidemiology of work related neck and upper limb problems: psychosocial and personal risk factors (part I) and effective interventions from a bio behavioural perspective (part II). *JOccupRehabil.* 2006;16(3):279-302.
17. Stress\_au\_travail\_ouvrage\_integral\_fin.pdf [Internet]. [cité 7 mai 2012]. Disponible sur: [http://www.inserm.fr/content/download/38167/245972/version/2/file/Stress\\_au\\_travail\\_ouvrage\\_integral\\_fin.pdf](http://www.inserm.fr/content/download/38167/245972/version/2/file/Stress_au_travail_ouvrage_integral_fin.pdf)
18. Expositions psychosociales et santé : état des connaissances épidémiologiques [Internet]. [cité 7 mai 2012]. Disponible sur: <http://www.inrs.fr/default/dms/inrs/CataloguePapier/DMT/TI-TP-13/tp13.pdf>
19. Sluiter BJ, Rest KM, Frings-Dresen MH. Criteria document for evaluating the work-relatedness of upper-extremity musculoskeletal disorders. *ScandJ Work EnvironHealth.* 2001;27 Suppl 1:1-102.
20. Hagberg M, Silverstein BA, Wells R, Smith M.J., Herbert R, Hendrick H.W., et al. Work related musculoskeletal disorders (WMSDs). A reference book for prevention. Bristol: Taylor and Francis; 1995.
21. Bernard BP. Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, the upper-limb, and low back. Cincinnati; 1997. Report No.: 97-141.
22. Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sorensen F, Andersson G, et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *ApplErgon.* 1987;18(3):233-7.
23. Descatha A, Roquelaure Y, Chastang JF, Evanoff B, Melchior M, Mariot C, et al. Validity of Nordic-style questionnaires in the surveillance of upper-limb work-related musculoskeletal disorders. *ScandJ Work Environ Health.* févr 2007;33(1):58-65.
24. FRPS2.pdf (Objet application/pdf) [Internet]. [cité 7 mai 2012]. Disponible sur: [http://www.dmt-prevention.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/DMT\\_FRPS%202/\\$File/FRPS2.pdf](http://www.dmt-prevention.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/DMT_FRPS%202/$File/FRPS2.pdf)
25. FRPS3.pdf (Objet application/pdf) [Internet]. [cité 7 mai 2012]. Disponible sur: [http://www.dmt-prevention.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/DMT\\_FRPS%203/\\$File/FRPS3.pdf](http://www.dmt-prevention.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/DMT_FRPS%203/$File/FRPS3.pdf)
26. Gollac M, Bodier M. Mesurer les facteurs psychosociaux de risque au travail pour les maîtriser [Internet]. [cité 7 mai 2012]. Disponible sur: <http://www.travailler-mieux.gouv.fr/Mesurer-les-facteurs-psychosociaux.html>
27. FRPS1.pdf (Objet application/pdf) [Internet]. [cité 7 mai 2012]. Disponible sur: [http://www.dmt-prevention.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/DMT\\_FRPS%201/\\$File/FRPS1.pdf](http://www.dmt-prevention.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/DMT_FRPS%201/$File/FRPS1.pdf)
28. Armstrong TJ, Buckle P, Fine LJ, Hagberg M, Jonsson B, Kilbom A, et al. A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *ScandJ Work EnvironHealth.* avr 1993;19(2):73-84.

29. Pujol M. Pathologie professionnelle d'hypersollicitation. Atteinte p,riartrriculaire du membre sup,rieur. Paris; 1993.
30. Aptel M. De l'épid,miologie ... la physiopathologie des TMS : le modŠle de Bruxelles, un r,f,rentiel int,grateur. Neuropathies et pathologies professionnelles. Paris: Masson; 2007. p. 51-62.
31. Cote P, van der, Cassidy JD, Carroll LJ, Hogg-Johnson S, Holm LW, et al. 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 (Phila Pa 1976). 15 févr 2008;33(4 Suppl):S60-74.
32. Greenland S, Pearl J, Robins JM. Causal diagrams for epidemiologic research. Epidemiology. 1999;37-48.
33. Robins JM, Hernán MÁ, Brumback B. Marginal structural models and causal inference in epidemiology. Epidemiology. 2000;11(5):550-60.
34. Hernán MA, Alonso A, Logan R, Grodstein F, Michels KB, Willett WC, et al. Observational studies analyzed like randomized experiments: an application to postmenopausal hormone therapy and coronary heart disease. Epidemiology. 2008;19(6):766-79.
35. Pearl J. The mediation formula: A guide to the assessment of causal pathways in non-linear models. Causality: Statistical Perspectives and Applications [Internet]. 2011 [cité 23 janv 2013]; Disponible sur: [http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=3\\_-5cilmkmOC&oi=fnd&pg=PA151&dq=mediation+formula&ots=wdemC-pg4q&sig=kfHxZHmzc7rZw5JpROpOAMWRG1Y](http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=3_-5cilmkmOC&oi=fnd&pg=PA151&dq=mediation+formula&ots=wdemC-pg4q&sig=kfHxZHmzc7rZw5JpROpOAMWRG1Y)
36. Picciotto S, Brown DM, Chevrier J, Eisen EA. Healthy worker survivor bias: implications of truncating follow-up at employment termination. Occup Environ Med. 10 janv 2013;70(10):736-42.
37. Neugebauer R, van der Laan M. Why prefer double robust estimators in causal inference? Journal of Statistical Planning and Inference. 2005;129(1):405-26.
38. Pearl J. Direct and indirect effects. Proceedings of the seventeenth conference on uncertainty in artificial intelligence [Internet]. Morgan Kaufmann Publishers Inc.; 2001 [cité 17 sept 2014]. p. 411-20. Disponible sur: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2074073>
39. SOBEL M. Asymptotic Confidence Intervals for Indirect Effects in Strucutural Equation Models. Sociological Methodology 1982 [Internet]. 1982 [cité 17 sept 2014]; Disponible sur: <http://ci.nii.ac.jp/naid/30005197124/>
40. Hafeman DM. « Proportion explained »: a causal interpretation for standard measures of indirect effect? American journal of epidemiology. 2009;170(11):1443-8.
41. Richiardi L, Bellocco R, Zugna D. Mediation analysis in epidemiology: methods, interpretation and bias. International journal of epidemiology. 2013;42(5):1511-9.
42. Lange T, Vansteelandt S, Bekaert M. A simple unified approach for estimating natural direct and indirect effects. Am J Epidemiol. 1 août 2012;176(3):190-5.

43. VanderWeele TJ, Vansteelandt S. Odds ratios for mediation analysis for a dichotomous outcome. *American journal of epidemiology*. 2010;172(12):1339-48.
44. Albert JM, Nelson S. Generalized Causal Mediation Analysis. *Biometrics*. sept 2011;67(3):1028-38.
45. Imai K, Yamamoto T. Identification and sensitivity analysis for multiple causal mechanisms: Revisiting evidence from framing experiments. *Political Analysis*. 2013;21(2):141-71.
46. VanderWeele T, Vansteelandt S. Mediation Analysis with Multiple Mediators. *em*. 2014;2(1):95-115.
47. Imai K, Keele L, Tingley D, Yamamoto T. Unpacking the Black Box of Causality: Learning about Causal Mechanisms from Experimental and Observational Studies. *American Political Science Review*. nov 2011;105(04):765-89.
48. Wang W, Nelson S, Albert JM. Estimation of causal mediation effects for a dichotomous outcome in multiple-mediator models using the mediation formula. *Statist Med*. 30 oct 2013;32(24):4211-28.
49. Kupek E. Beyond logistic regression: structural equations modelling for binary variables and its application to investigating unobserved confounders. *BMC Medical Research Methodology*. 2006;6(1):13.
50. Lei P-W, Wu Q. Introduction to structural equation modeling: Issues and practical considerations. *Educational Measurement: Issues and Practice*. 2007;26(3):33-43.
51. Preacher KJ, Hayes AF. Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior research methods*. 2008;40(3):879-91.
52. Yves Rosseel. lavaan : An R Package for Structural Equation Modeling. *the Stata Journal [Internet]*. mai 2012 [cité 3 oct 2014]; Disponible sur: about:newtab
53. Karasek RA. Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign. *Administrative Science Quarterly*. juin 1979;24(2):285-308.
54. Niedhammer I, Chastang JF, Gendrey L, David S, Degioanni S. [Psychometric properties of the French version of Karasek's « Job Content Questionnaire » and its scales measuring psychological pressures, decisional latitude and social support: the results of the SUMER]. *Sante Publique*. sept 2006;18(3):413-27.
55. Herquelot E, Bodin J, Roquelaure Y, Ha C, Leclerc A, Goldberg M, et al. Work-related risk factors for lateral epicondylitis and other cause of elbow pain in the working population. *Am J Ind Med*. avr 2013;56(4):400-9.
56. Herquelot E, Guéguen A, Roquelaure Y, Bodin J, Sérazin C, Ha C, et al. Work-related risk factors for incidence of lateral epicondylitis in a large working population. *Scand J Work Environ Health*. nov 2013;39(6):578-88.
57. Sluiter JK, Rest KM, Frings-Dresen MH. Criteria document for evaluating the work-relatedness of upper-extremity musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health*. 2001;27 Suppl 1:1-102.

58. Goldberg M, Leclerc A, Bonenfant S, Chastang JF, Schmaus A, Kaniewski N, et al. Cohort profile: the GAZEL Cohort Study. *International Journal of Epidemiology*. 1 févr 2007;36(1):32-9.
59. VanderWeele T, Tchetgen ET. Mediation Analysis with Time-Varying Exposures and Mediators. *Harvard University Biostatistics Working Paper Series* [Internet]. 4 mars 2014; Disponible sur: <http://biostats.bepress.com/harvardbiostat/paper168>

## 7 Annexes

# LETTER TO EDITOR

(JANUARY 28, 2013)

## A CONCEPTUAL MODEL OF MUSCULOSKELETAL DISORDERS FOR OCCUPATIONAL HEALTH PRACTITIONERS

Dear Editor,

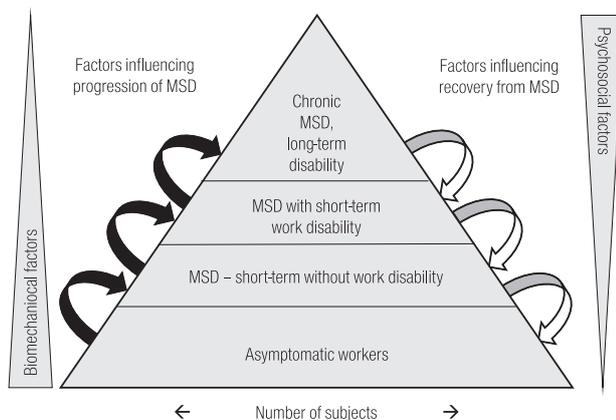
Musculoskeletal disorders (MSDs) are among the most common and costly health problems among working populations, and constitute a major cause of disability [1]. Occupational health practitioners must manage, prevent, and assess the work-relatedness of this large and diverse set of disorders, which affect different body parts and have different risk factors, treatments, and prognoses. The relationships of workplace exposures to MSDs are often difficult to assess, due to the multifactorial nature of these disorders, differing findings in the medical literature on the associations between personal and work-related factors, and the difficulties in applying the results contained in the existing literature to individual patients. However, the assessment of work-related factors is often central to decisions regarding the treatment, work ability, and compensation.

The multifactorial nature of MSDs has been well described: personal, psychosocial, and workplace physical exposures are all associated with higher rates of MSDs in working populations [2–7]. The assessment of etiology is very complex because MSDs affecting any body part comprise a diverse set of outcomes, ranging from symptoms of discomfort to long-term work disability. The discussions devoted to work-related risk factors of MSDs often fail to consider that different risk factors

may influence different stages of disease severity. For instance, risk factors assessed among workers qualified for surgery or among those with long-term disability may be different from risk factors assessed among newly symptomatic workers. While integrated models of impairment and disability describe this spectrum of severity [8], they do not explicitly address the differences in work-related etiological or prognostic factors among workers with different outcomes [9–11]. We present a diagram of a simple conceptual model (Figure 1) that may clarify this issue for researchers and practitioners. This conceptual model provides a framework for designing research studies and testing hypotheses using mathematical models.

Figure 1 shows a “pyramid of disability”, with the base comprising workers without any symptoms of MSDs. Some workers subsequently experience symptoms of MSDs, but do not seek treatment, while others seek treatment, but experience no work disability. A smaller number of them progress to short-term or chronic functional impairment and work disability. As the risk changes, the recovery of function and alleviation of symptoms occurs, and workers move back down to the lower levels of the pyramid. Therapeutic interventions, work-related and non-work-related exposures to physical and psychosocial stressors, medical co-morbidities, workplace policies, and a variety of other personal and social factors can mediate transitions between the levels of this pyramid. The risk factors that play the predominant role in the initial transition from asymptomatic to symptomatic

This study was supported by ANSES (French agency for Food, Environmental and Occupational Health Safety, APR EST 2011 TeMIS, CDC/NIOSH (grant # R01OH008017-01) and by the National Center for Research Resources (NCRR) (grant # UL1 RR024992), a component of the National Institutes of Health (NIH), and NIH Roadmap for Medical Research. Its contents are solely the responsibility of the authors and do not necessarily represent the official view of ANSES, NIOSH, NCRR, or NIH.



**Fig. 1.** Diagram presenting a conceptual model of the “pyramid of disability”

level may differ from the factors that most strongly affect the prognosis and disability among the symptomatic workers.

There are suggestions in the existing literature that work-related biomechanical factors are probably more strongly associated with the initial incidence of MSDs and transitions between the levels at the bottom of the pyramid [4,12–14], whereas psychosocial and psychological factors may be more strongly associated with the outcome and prognosis [15]. These differences in contribution are likely to be relative, not absolute – psychosocial factors may play a role in early presentation of some disorders [5,16] and changes in workplace ergonomics have been associated with faster return-to-work among those with long-term work absence [17].

Few studies have examined separately the risk factors concerning transitions between different stages of symptoms and disability, nor have most reviews considered separately the risk factors for different outcomes such as MSDs without time loss and MSDs with prolonged time loss. If the risk factors for these outcomes differ, this may explain some of the lack of clarity in the current literature on work-related risk factors and MSDs. It may also explain to some extent the different views on the work-relatedness of MSDs held by different

practitioners. Musculoskeletal specialists such as rheumatologists, rehabilitation specialists, and hand or back surgeons typically see workers referred to them because of prolonged symptoms or work disability, while primary care physicians or occupational health practitioners may be the first to see a newly symptomatic worker; different practitioners may form different conceptions regarding the association between work and MSD that are relevant to their typical patient population. However, research findings or clinical experience related to particular MSD outcomes may not be generalizable to outcomes with greater or lesser severity.

We suggest that clinical practice and future research consider that factors influencing the onset, progression, and recovery from various stages of MSD severity are probably different, and assessments of work-related factors should take into account different stages of MSD severity and progression toward impairment and disability. The model is intended to be a simple illustration of potential differences in relevant risk factors at different stages of progression of MSDs [18]. Studies of MSDs must take into account their multifactorial nature, the complex relationships between biomechanical and psychological factors [19], and diversity of symptoms and disability outcomes seen in populations with work exposures [20]. Further work using this framework would be required to demonstrate the validity and utility of the model based on this concept. The model we have presented is simplistic and requires empiric validation, but may be useful in explaining the differences in views and research findings on work-related risk factors and MSDs. It might encourage further discussions and practical studies in the area of etiology, prevention and treatment of MSDs.

**Key words:**  
Musculoskeletal disorders, MSD, Models,  
Occupational, Practitioners

## REFERENCES

1. McDonald M, DiBonaventura M daCosta, Ullman S. Musculoskeletal pain in the workforce: The effects of back, arthritis, and fibromyalgia pain on quality of life and work productivity. *J Occup Environ Med.* 2011;53(7):765–70, <http://dx.doi.org/10.1097/JOM.0b013e318222af81>.
2. Bongers PM, de Winter CR, Kompier MA, Hildebrandt VH. Psychosocial factors at work and musculoskeletal disease. *Scand J Work Environ Health.* 1993;19(5):297–312, <http://dx.doi.org/10.5271/sjweh.1470>.
3. Hagberg M, Silverstein BA, Wells R, Smith MJ, Herbert R, Hendrick HW, et al. Work related musculoskeletal disorders (WMSDs). A reference book for prevention. Bristol: Taylor and Francis; 1995.
4. Sluiter BJ, Rest KM, Frings-Dresen MH. Criteria document for evaluating the work-relatedness of upper-extremity musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health.* 2001;27 Suppl 1:1–102.
5. Andersen JH, Kaergaard A, Frost P, Thomsen JF, Bonde JP, Fallentin N, et al. Physical, psychosocial, and individual risk factors for neck/shoulder pain with pressure tenderness in the muscles among workers performing monotonous, repetitive work. *Spine.* 2002;27(6):660–7.
6. Jansen JP, Morgenstern H, Burdorf A. Dose-response relations between occupational exposures to physical and psychosocial factors and the risk of low back pain. *Occup Environ Med.* 2004;61(12):972–9, <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2003.012245>.
7. Macdonald LA, Härenstam A, Warren ND, Punnett L. Incorporating work organisation into occupational health research: An invitation for dialogue. *Occup Environ Med.* 2008;65(1):1–3, <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2007.033860>.
8. Finger ME, Glässel A, Erhart P, Gradinger F, Klipstein A, Rivier G, et al. Identification of relevant ICF categories in vocational rehabilitation: A cross sectional study evaluating the clinical perspective. *J Occup Rehabil.* 2011;21(2):156–66, <http://dx.doi.org/10.1007/s10926-011-9308-2>.
9. Armstrong TJ, Buckle P, Fine LJ, Hagberg M, Jonsson B, Kilbom A, et al. A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health.* 1993;19(2):73–84, <http://dx.doi.org/10.5271/sjweh.1494>.
10. Marras WS. State-of-the-art research perspectives on musculoskeletal disorder causation and control: The need for an intergraded understanding of risk. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14(1):1–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.005>.
11. Hagberg M, Violante F, 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;13(1):109, <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2474-13-109>.
12. Miranda H, Viikari-Juntura E, Heistaro S, Heliövaara M, Riihimäki H. A population study on differences in the determinants of a specific shoulder disorder versus nonspecific shoulder pain without clinical findings. *Am J Epidemiol.* 2005;161(9):847–55, <http://dx.doi.org/10.1093/aje/kwi112>.
13. Van Tulder M, Koes B, Bombardier C. Low back pain. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2002;16(5):761–75, <http://dx.doi.org/10.1053/berh.2002.0267>.
14. Neupane S, Virtanen P, Leino-Arjas P, Miranda H, Siu-kola A, Nygård C-H. Multi-site pain and working conditions as predictors of work ability in a 4-year follow-up among food industry employees. *Eur J Pain.* 2013;17(3):444–51, <http://dx.doi.org/10.1002/j.1532-2149.2012.00198.x>.
15. Fransen M, Woodward M, Norton R, Coggan C, Dawe M, Sheridan N. Risk factors associated with the transition from acute to chronic occupational back pain. *Spine.* 2002;27(1):92–8, <http://dx.doi.org/10.1097/00007632-200201010-00022>.
16. Cote P, van der Velde G, Cassidy JD, Carroll LJ, Hogg-Johnson S, Holm LW, et al. 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 (Phila Pa 1976.).* 2008;33(4 Suppl):S60–74.

17. Loisel P, Abenhaim L, Durand P, Esdaile JM, Suissa S, Gosselin L, et al. A population-based, randomized clinical trial on back pain management. *Spine*. 1997;22(24):2911–8, <http://dx.doi.org/10.1097/00007632-199712150-00014>.
18. Coggon D, Ntani G, Vargas-Prada S, Martinez JM, Serra C, Benavides FG, et al. International variation in absence from work attributed to musculoskeletal illness: findings from the CUPID study. *Occup Environ Med*. 2013;70(8):575–84, <http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2012-101316>.
19. Nguyen V, Teysseyre D, Herquelot E, Cyr D, Imbernon E, Goldberg M, et al. [Long-term effects of exposure to biomechanical and psychosocial occupational factors on severe shoulder pain in the Gazel cohort]. *Arch Mal Pro. Environ*. 2013;74(5): 499–508. French.
20. Karjalainen K, Malmivaara A, van Tulder M, Roine R, Jauhiainen M, Hurri H, et al. Multidisciplinary biopsychosocial rehabilitation for neck and shoulder pain among working age adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2003;(2):CD002194.

Bradley Evanoff<sup>1</sup>, Ann Marie Dale<sup>1</sup>, Alexis Descatha<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Washington University School of Medicine,  
St. Louis, MO, USA

Division of General Medical Sciences

<sup>2</sup> Univ Versailles St-Quentin, F-78035, Versailles, France

<sup>3</sup> Inserm, Centre for Research in Epidemiology  
and Population Health (CESP), Villejuif, France  
“Population-Based Epidemiological Cohorts”

Research Platform

<sup>4</sup> University Hospital of West suburb of Paris,  
Garches, France

AP-HP, Occupational Health Unit/EMS (Samu92)

Corresponding author: A. Descatha

Unité de pathologie professionnelle, CHU Poincaré

104 bd R. Poincaré, 92380 Garches, France

(email: alexis.descatha@rpc.aphp.fr).

Reçu le :  
9 avril 2013  
Accepté le :  
1<sup>er</sup> mai 2013

## Effets à long terme des facteurs biomécaniques et psychosociaux professionnels sur les douleurs importantes de l'épaule dans la cohorte Gazel

Long-term effects of exposure to biomechanical and psychosocial occupational factors on severe shoulder pain in the Gazel cohort

V. Nguyen<sup>a,b,c,d</sup>, D. Teysseire<sup>a,b</sup>, E. Herquelot<sup>a,b</sup>, D. Cyr<sup>a,b</sup>, E. Imbernon<sup>e</sup>, M. Goldberg<sup>a,b</sup>, A. Descatha<sup>a,b,c,\*</sup>

<sup>a</sup> Université Versailles Saint-Quentin, 78035 Versailles, France

<sup>b</sup> Inserm, centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP), U1018, plateforme de recherche « Cohortes en Population », 94807 Villejuif cedex, France

<sup>c</sup> Unité de pathologie professionnelle/Samug2, hôpitaux universitaires de Paris Île-de-France Ouest, AP-HP, site de Poincaré, 92380 Garches, France

<sup>d</sup> Inserm, centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP), U1018, épidémiologie des déterminants professionnels et sociaux de la santé, 94807 Villejuif cedex, France

<sup>e</sup> Département santé travail, Institut de veille sanitaire (InVS), 94410 Saint-Maurice, France

Disponible en ligne sur

**SciVerse ScienceDirect**  
www.sciencedirect.com

### Summary

**Purpose of the study.** We aimed to assess whether the risk factors for severe shoulder pain, especially exposure to biomechanical and psychosocial occupational factors, were still relevant after a 12-year follow-up, even after retirement.

**Method.** All men participating in the ARPEGE ancillary study of the Gazel cohort (followed up since 1989) and who answered the 1994 or 1995 general Gazel self-administered questionnaire were included. Psychosocial factors were collected in 1995 from a preliminary version of the Karasek questionnaire on job demand and decision latitude. The biomechanical factor of interest was “elevation more than 90° of load-bearing arm” (abduction and load). The association between these factors and the incidence or persistence of severe shoulder pain ( $\geq 4/8$  on a numerical scale) between 1994–95 and 2006 was studied as a function of the presence of physical factors, psychosocial factors or both, also taking into account having retired before 2001.

**Results.** In 2006, when most of the subjects had retired, 1482 men and 1132 women answered the questionnaire. None of the psychosocial factors studied were significantly associated with shoulder

### Résumé

**Objectifs.** Nous avons cherché, parmi les participants de la cohorte Gazel, à évaluer l'association entre certains facteurs biomécaniques et psychosociaux professionnels évalués en 1994–95 et la survenue de scapalgies déclarées comme importantes entre cette période et 2006, ainsi que leur persistance alors que la plupart des sujets sont à la retraite.

**Méthodes.** Tous les sujets, ayant participé à l'étude ARPEGE (sous-échantillon de la cohorte Gazel) et ayant répondu au questionnaire Gazel en 1994 ou 1995, ont été inclus dans l'étude. Les facteurs psychosociaux, recueillis en 1995, sont issus d'une version préliminaire du questionnaire Karasek évaluant la demande psychologique et la latitude décisionnelle. Le facteur biomécanique est « travail bras à hauteur d'épaule avec charge » (« abduction et charge »). L'association entre ces facteurs et l'incidence de scapalgies importantes ( $\geq 4/8$  sur une échelle numérique) entre 1994–95 et 2006 ou leur persistance a été étudiée en fonction de la présence du facteur biomécanique, du facteur psychosocial ou des deux, prenant également en compte le passage à la retraite avant 2001.

\* Auteur correspondant.  
e-mail : alexis.descatha@uvsq.fr

pain in those who did not have pain in 1994–95, unlike the biomechanical factor, studied in men only. Among workers with severe shoulder pain in 1994–95, the only work-related factor possibly associated with the persistence of severe shoulder pain in 2006 in multivariate analysis was having retired before 2001 (Odds ratio = 0.49, CI 95% = 0.23–1.04).

**Conclusion.** In the long term, only the biomechanical factor has been shown to be associated with the onset of severe shoulder pain in men in 2006 (no woman was exposed). None of the psychosocial dimensions studied have remained significantly associated with shoulder pain at the end of the follow-up, after taking into account biomechanical and personal factors.

© 2013 Published by Elsevier Masson SAS.

**Keywords:** Shoulder pain, Biomechanics, Psychosocial factors, Occupational exposure, MSD

## Introduction

La douleur de l'épaule est un problème courant dans la population générale. Des données basées sur 15 pays européens montrent que 25 % de travailleurs ont déjà eu des troubles musculosquelettiques (TMS) de l'épaule [1]. La prévalence de la douleur de l'épaule dans la population générale est de 6–11 % chez les moins de 50 ans et est de 16–25 % dans la population plus âgée [2]. La prévalence sur 12 mois dans la population générale se situe entre 7 et 47 % pour les douleurs à l'épaule en fonction de la population étudiée et la définition utilisée [3,4]. Silverstein et al. ont rapporté un taux d'incidence de pathologies indemnisées de l'épaule de 54,0 par 10 000 équivalents temps plein par an [5]. En France, l'incidence de troubles du cou et de l'épaule était de 7,3 % chez les hommes et 12,5 % chez les femmes entre 1990 et 1995 [6], et l'incidence pour les personnes exposées à un travail répétitif était de 29 % chez les hommes et 21 % chez les femmes en trois ans [7]. Dans l'enquête Cosali, la prévalence du syndrome de la coiffe des rotateurs était de 7 % en 2002–2004 avec 65 % de persistance des symptômes d'épaule trois ans plus tard [8]. La majeure partie des expositions professionnelles suspectées ou reconnues sont les hyper-sollicitations de nature biomécanique. Les facteurs biomécaniques associés à la douleur d'épaule sont principalement : abduction de l'épaule et flexion, soulèvement d'objets lourds, effort manuel, mouvements répétitifs, utilisation d'outils à main vibrants et exposition combinée à ces facteurs [2,9,10].

Le rôle du stress et des facteurs psychosociaux d'origine professionnelle dans la survenue des TMS est encore mal établi et les résultats épidémiologiques sont encore discutés

**Résultats.** En 2006, 1482 hommes et 1132 femmes ont répondu au questionnaire. Aucun des facteurs psychosociaux étudiés n'a été associé significativement avec les scapulalgies importantes chez ceux qui n'en avaient pas en 1994–95, contrairement au facteur biomécanique professionnel étudié chez les hommes. Parmi les sujets avec scapulalgies importantes en 1994–95, le seul facteur lié au travail, parmi ceux étudiés apparaissant comme possiblement associés avec la persistance de scapulalgies importantes en 2006 en analyse multivariée, a été le passage à la retraite avant 2001 (qui diminue les douleurs, *Odds ratio* = 0,49, IC 95 % = 0,23–1,04).

**Conclusion.** À long terme, seule l'exposition professionnelle biomécanique a été mise en évidence comme associée à la survenue de douleurs d'épaules importantes en 2006 chez les hommes (seuls exposés). Aucune des dimensions psychosociales étudiées n'est restée significativement associée dans le suivi, après prise en compte des facteurs biomécaniques et personnels.

© 2013 Publié par Elsevier Masson SAS.

**Mots clés :** Douleur d'épaule, Contrainte biomécanique, Facteurs psychosociaux, Exposition professionnelle, Cohorte Gazel, TMS

[10]. Plusieurs auteurs suggèrent qu'une faible latitude décisionnelle et une forte demande psychologique sont associées aux TMS du membre supérieur [11,12]. D'autres études concluent à l'existence d'une association entre « faible soutien social par les collègues » et TMS [13]. En ce qui concerne les scapulalgies, il existe des liens probables, mais avec un niveau de preuve discuté dans les revues sur le sujet et peu d'études longitudinales avec un long suivi [2,14].

Une précédente étude dans la cohorte Gazel avait montré que l'exposition à certains facteurs de risque dans la vie professionnelle est associée à la survenue de douleurs de l'épaule déclarées intenses et/ou gênantes chez les hommes, même après le départ à la retraite. Une association significative avait été observée entre le geste professionnel « travail bras tendu en avant, à hauteur des épaules, avec charge » déclaré en 1994–95 et la survenue d'une douleur d'épaule importante en 2006 chez ceux qui avaient peu ou pas mal en 1994–95 (OR = 1,5 [1,04–2,23]), après ajustement sur les facteurs personnels [15]. Une étude préliminaire sur des données transversales (1994–95) avait retrouvé une association entre certains facteurs psychosociaux et les scapulalgies importantes [16].

Notre objectif a été d'étudier l'association entre certains facteurs psychosociaux évalués en 1994–95 et les scapulalgies importantes en 2006, alors que la plupart des sujets sont à la retraite, en prenant en compte les facteurs biomécaniques.

## Méthodes

Mise en place en 1989 dans le but de favoriser la réalisation d'études épidémiologiques portant sur des thèmes variés, la

cohorte Gazel est composée de 20 625 volontaires agents d'EDF-GDF âgés de 35 à 50 ans lors du lancement. Ils ont été suivis de façon prospective depuis, notamment par l'intermédiaire d'un autoquestionnaire annuel [17,18]. Entre 1994 et 1995, l'étude ARPEGE (affections rhumatologiques péri-articulaires et gestes professionnels) fut lancée pour analyser les TMS des membres supérieurs et inférieurs en lien avec le travail. La population d'étude était constituée, sur la base du volontariat, des agents statutaires EDF-GDF en activité, âgés pour les hommes de 45 à 50 ans lors du premier questionnaire Gazel ; l'échantillonnage a tenu compte des caractéristiques de la cohorte quant à la structure des emplois (la totalité des agents d'exécution, un quart des agents de maîtrise, un cadre masculin sur deux). Les agents inclus ont rempli, entre 1994 et 1995, un questionnaire spécifique sur les expositions biomécaniques professionnelles et la présence de TMS des membres.

La population de l'étude présentée ici correspond à tous les agents de l'étude ARPEGE ayant répondu à l'autoquestionnaire de Gazel en 1994-95.

Les variables prises en compte proviennent des autoquestionnaires. Les variables sociodémographiques disponibles étaient l'âge, le sexe, les sports sollicitant l'épaule, l'indice de masse corporelle (IMC) et la notion de traumatisme de l'épaule (fracture, luxation).

Les variables professionnelles comprenaient les gestes professionnels du questionnaire ARPEGE et la durée d'exposition aux gestes professionnels durant toute la vie professionnelle. La précédente étude avait retenu la variable « bras tendu en avant à hauteur des épaules » comme significativement associée aux scapulalgies importantes.

Pour évaluer les expositions psychosociales, les sujets ont répondu au questionnaire de Karasek en 1995 (annexe 1). Bien que cet autoquestionnaire de 1995 ne comportait pas la forme complète et définitive de la version française, il a été retenu du fait de son utilisation concomitante à l'évaluation des facteurs biomécaniques professionnels. Les dimensions de demande psychologique et de latitude décisionnelle étant très proches de celles du questionnaire validé, elles ont été traitées ici, et le score du Job Strain Index a été calculé selon la méthode habituellement recommandée (seuil à la médiane de l'échantillon).

Le critère de jugement principal était une douleur de l'épaule déclarée, définie comme importante (valeur > 4/8 sur une échelle numérique établie en 2006, comme dans la précédente étude ; une valeur inférieure ou égale à 4/8 était considérée comme modérée [15]). Les analyses ont porté séparément sur les hommes et les femmes, ce d'autant que les femmes ne sont qu'exceptionnellement exposées aux facteurs biomécaniques dans cet échantillon. Afin de ne pas confondre facteurs de survenue de douleur importante d'épaule et facteurs de persistance ou récurrence, les analyses ont également été stratifiées sur la présence ou non de douleur importante d'épaule en 1994-95. Les analyses ont

été réalisées à l'aide de modèles de régression logistique uni- et multivariés, incluant les variables professionnelles et personnelles (en ajustant également sur la présence d'une douleur d'épaule modérée en 1994-95 dans le modèle portant sur la survenue de douleur importante en 2006). Les variables incluses dans les modèles se basent sur les modèles précédemment publiés avec les dimensions de demande psychologique et de latitude décisionnelle. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel SAS v9.3 (Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC, États-Unis). La significativité statistique a été considérée pour des  $p < 0,05$  (et « limite significative » pour des  $p$  entre 0,05 et 0,10).

## Résultats

### Description de l'échantillon

En 1994-95, 1786 hommes et 1392 femmes ont répondu à la fois aux questionnaires Gazel et ARPEGE (fig. 1).

Les hommes étaient âgés de 47 à 51 ans et les femmes étaient âgées de 42 à 51 ans ; 8,5 % d'hommes avaient des douleurs modérées à l'épaule ( $n = 151$ ) et 14,6 % avaient des douleurs importantes à l'épaule ( $n = 261$ ) ; 54,7 % des hommes avaient un IMC supérieur ou égal à 25 kg/m<sup>2</sup> ( $n = 976$ ) ; 9,1 % un IMC supérieur ou égal à 30 kg/m<sup>2</sup> ( $n = 163$ ) ; 7,4 % des femmes avaient des douleurs modérées à l'épaule ( $n = 106$ ) et 17,2 % avaient des douleurs importantes ( $n = 245$ ) ; 16,2 % des femmes avaient un IMC supérieur ou égal à 25 kg/m<sup>2</sup> ( $n = 231$ ) ; 5,9 % avec un IMC supérieur ou égal à 30 kg/m<sup>2</sup> ( $n = 85$ ).

L'exposition biomécanique professionnelle a été retrouvée principalement chez les ouvriers et les superviseurs techniques ( $n = 285/871$ , soit 32,7 % contre  $n = 98/880$ , soit 11,1 % pour les autres catégories,  $p < 0,0001$ ).

### Suivi

Parmi les répondants en 1994-95, 304 hommes (17,0 %) et 260 femmes (18,7 %) n'ont pas répondu au questionnaire 2006 (groupe « non-répondants »). Les autres sujets ont répondu en 2006 (groupe « répondants »).

Les groupes sont différents en termes d'exposition biomécanique (plus fortement exposé chez les hommes répondants que chez les non-répondants) et de latitude décisionnelle (plus faiblement exposé chez les hommes répondants que ceux non-répondants). La proportion d'obèses (IMC > 30 kg/m<sup>2</sup>) est également moins importante chez les sujets, hommes et femmes, répondants que ceux non-répondants. Néanmoins, il n'existe pas de différence entre les groupes « répondants » et « non-répondants » sur les autres variables étudiées, notamment sur la douleur importante d'épaule en 1994-95.

Dans le groupe des répondants, la prévalence de la douleur importante à l'épaule en 2006 était plus élevée qu'au départ (17,3 %,  $n = 257$  par rapport à 14,9 %,  $n = 221$  chez les hommes,

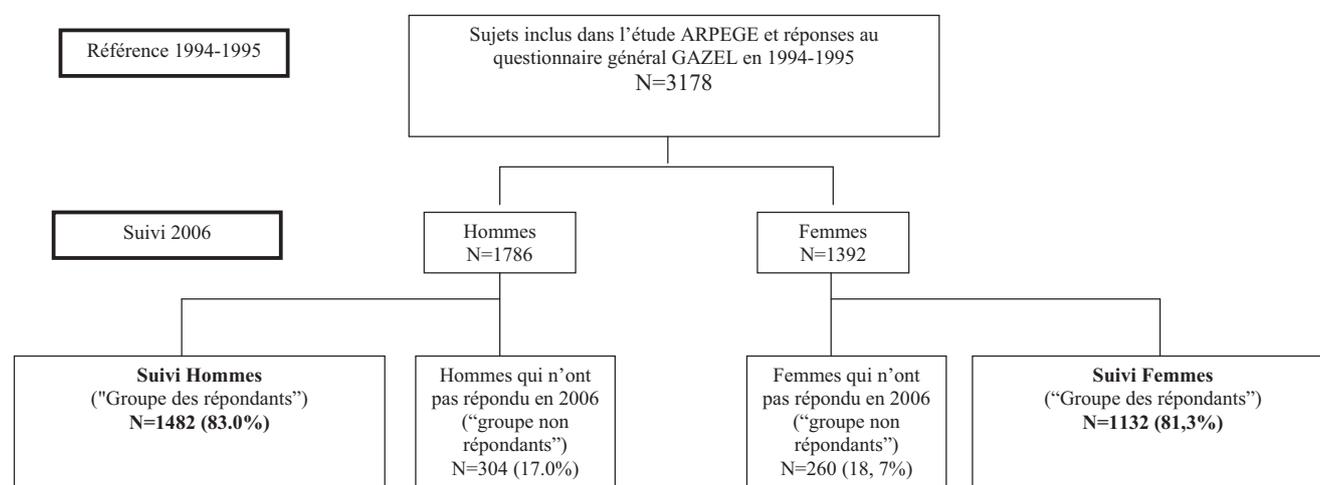


Figure 1. Diagramme de flux.

22,0 %,  $n = 249$  par rapport à 17,0 %,  $n = 192$  chez les femmes), l'âge moyen était de 60,8 ans chez les hommes (âgés de 59 à 63 ans) et de 58,0 ans (54–63) chez les femmes ; 98 % des hommes avaient pris leur retraite (55,7 % avant le 1<sup>er</sup> janvier 2001,  $n = 826$ ) contre 87,2 % de femmes (29,1 % à la retraite avant le 1<sup>er</sup> janvier 2001,  $n = 284$ ).

Chez les hommes qui n'avaient pas de scapulalgies en 1994–95, on constate que le facteur biomécanique professionnel est le seul facteur professionnel significativement associé au fait d'avoir développé une douleur importante d'épaule en 2006 en analyse multivariée (tableau I).

Chez les femmes sans scapulalgie, aucun facteur n'est significativement associé aux douleurs importantes d'épaule dans l'analyse multivariée. Bien que le Job Strain Index apparaisse comme un facteur de risque dans l'analyse univariée (tableau II), il n'est plus significatif après ajustement sur les autres facteurs (*Odds ratio* ajusté : 1,22 [0,77 ; 1,94]), comme les autres facteurs psychosociaux étudiés (tableau II). L'IMC et les sports sollicitant l'épaule apparaissent comme des facteurs significativement associés lorsqu'ils sont considérés individuellement, mais ne restent pas significatifs en analyse multivariée, chez les hommes comme chez les femmes.

Chez les hommes qui avaient des scapulalgies importantes en 1994–95, le seul autre facteur mis en évidence comme associé avec les scapulalgies importantes en 2006 était la retraite avant 2001 (risque moindre de scapulalgie,  $p$  entre 0,05 et 0,10, tableau I).

Pour les femmes, aucun facteur n'est associé à la persistance de douleurs importantes entre 1994–95 et 2006.

## Discussion

Il n'a pas été mis en évidence d'association sur le long terme entre facteur psychosocial et scapulalgies importantes,

contrairement à l'exposition biomécanique professionnelle au travail. Chez les sujets avec douleurs importantes en 1995, aucun facteur n'a été observé comme associé significativement à la persistance des douleurs importantes, en dehors d'un effet protecteur possible d'une retraite précoce chez les hommes, et des activités sportives chez les femmes, mais des analyses sur des échantillons plus importants sont nécessaires avant de pouvoir conclure.

L'étude comporte certaines limites. Le nombre de sujets atteints de douleurs à l'épaule était trop faible pour conclure sur les effets pronostiques à long terme des facteurs professionnels étudiés, même si un effet protecteur de la retraite anticipée a été évoqué (à la limite de la significativité).

Concernant les effets de sélection, aucune différence statistique quant à la prévalence de douleur à l'épaule importante (ou une douleur modérée) en 1994–95 n'a été observée entre les groupes « répondants » et « non-répondants » en 2006, même si la prévalence de l'exposition à des facteurs biomécaniques était légèrement plus élevée dans le groupe des répondants [19]. Les effets de sélection à l'inclusion et l'attrition pendant le suivi ont été étudiés précédemment dans la cohorte Gazel [15,20,21]. Dans l'ensemble, même si le groupe « non-répondants » était légèrement différent du groupe des répondants, l'effet sur les associations entre les facteurs de risques et les résultats est probablement faible. Enfin, on retrouve globalement une prévalence de scapulalgies importantes comparable à celle évoquée dans la littérature de 12–14 % [2,4].

Une limite importante réside dans la mesure des expositions, et notamment dans le choix des facteurs psychosociaux étudiés. Le questionnaire de Karasek de 1995 était une version préliminaire. Cependant, une méta-analyse comparant les versions partielles et complètes du questionnaire de Karasek a montré un bon degré d'accord entre les deux versions [22]. De plus, les facteurs psychosociaux sont évalués dans l'année du remplissage du questionnaire, contrairement aux facteurs

Tableau I

Facteurs chez les hommes associés à l'incidence de scapulalgies importantes entre 1994-95 et 2006 et ceux associés à persistance de scapulalgies importantes entre 1994-95 et 2006 en analyse univariée et multivariée (modèle logistique).

Facteurs évalués en 1994-95 (à l'exception de la retraite)	Scapulalgies importantes en 2006 chez les sujets sans scapulalgie importante en 1994-95 (facteurs liés à l'incidence)				Univariée <i>Odds ratios</i> (IC 95 %)	Multivariée <i>Odds ratios</i> (IC 95 %)	Multivariée <i>Odds ratios</i> (IC 95 %) avec le Job Strain Index
	Oui/non	Effectif total	Nombre de cas	Proportion			
Âge (années)					1,00 [0,89 ; 1,12]	0,91 [0,78 ; 1,07]	
IMC (en kg/m <sup>2</sup> )					<b>1,06</b> <b>[1,01 ; 1,12]</b>	1,04 [0,98 ; 1,11]	
Traumatisme épaules	Non Oui	1126 135	152 23	13,5 17,0	1 1,32 [0,81 ; 2,13]	1 1,16 [0,67 ; 2,00]	
Sport sollicitant l'épaule	Non oui	896 365	126 49	14,1 13,4	1 0,95 [0,66 ; 1,35]	1 1,04 [0,69 ; 1,56]	
Exposition biomécanique professionnelle (« abduction et charge »)	Non Oui	998 263	126 49	12,6 18,6	1 <b>1,58</b> <b>[1,10 ; 2,28]</b>	1 <b>1,56</b> <b>[1,04 ; 2,35]</b>	
Demande psychologique	Non Oui	488 674	61 100	12,5 14,8	1 1,22 [0,87 ; 1,72]	1 1,24 [0,85 ; 1,79]	
Latitude décisionnelle	Non Oui	581 583	80 79	13,8 13,6	1 0,98 [0,70 ; 1,37]	1 0,94 [0,65 ; 1,35]	
Job Strain Index	Non Oui	828 310	108 49	13,0 15,8	1 1,25 [0,87 ; 1,80]		
Retraite anticipée avant 2001	Non Oui	745 491	96 78	12,9 15,9	1 1,28 [0,92 ; 1,76]	1 1,34 [0,86 ; 2,08]	
Douleur épaule modérée en 1994-95	Pas de douleur Douleur modérée	1134 127	145 30	12,8 23,6	1 <b>2,11</b> <b>[1,35 ; 3,29]</b>	1 <b>2,01</b> <b>[1,21 ; 3,35]</b>	
	<b>Scapulalgies importantes en 2006 chez les sujets avec scapulalgies importantes en 1994-95 (facteurs liés à la persistance)</b>						
Facteurs évalués en 1994-95 (à l'exception de la retraite)	Effectif total	Nombre de cas	Proportion	Univariée <i>Odds ratios</i> (IC 95 %)	Multivariée <i>Odds ratios</i> (IC 95 %)	Multivariée <i>Odds ratios</i> (IC 95 %) avec le Job Strain Index	
Âge (années)				1,04 [0,85 ; 1,27]	1,17 [0,89 ; 1,54]		
IMC (en kg/m <sup>2</sup> )				1,04 [0,95 ; 1,14]	1,04 [0,95 ; 1,14]		
Traumatisme épaules	179 42	62 20	34,6 47,6	1 1,72 [0,87 ; 3,38]	1 1,97 [0,91 ; 4,26]		

Tableau I (Suite)

Facteurs évalués en 1994-95 (à l'exception de la retraite)	Scapulalgies importantes en 2006 chez les sujets avec scapulalgies importantes en 1994-95 (facteurs liés à la persistance)					
	Effectif total	Nombre de cas	Proportion	Univarié Odds ratios (IC 95 %)	Multivariée Odds ratios (IC 95 %)	Multivariée Odds ratios (IC 95 %) avec le Job Strain Index
Sport sollicitant l'épaule	168	61	36,3	1	1	
	53	21	39,6	1,15 [0,61 ; 2,17]	1,20 [0,60 ; 2,42]	
Exposition biomécanique professionnelle (« abduction et charge »)	148	52	35,1	1	1	
	73	30	41,1	1,29 [0,72 ; 2,29]	1,35 [0,71 ; 2,54]	
Demande psychologique	80	27	33,8	1	1	
	131	51	38,9	1,25 [0,70 ; 2,24]	1,44 [0,77 ; 2,72]	
Latitude décisionnelle	84	32	38,1	1	1	
	123	44	35,8	0,91 [0,51 ; 1,61]	1,06 [0,58 ; 1,96]	
Job Strain Index	132	51	38,6	1		
	73	25	34,3	0,83 [0,46 ; 1,50]		
Retraite anticipée avant 2001	123	51	41,5	1	1	
	95	31	32,6	0,68 [0,39 ; 1,20]	<b>0,49</b> <b>[0,23 ; 1,04]</b>	
Douleur épaule modérée en 1994-95						

En gras :  $p < 0,05$  ; en italique  $p = 0,05$  et  $0,10$ .

biomécaniques qui sont évalués sur la vie professionnelle entière.

L'auto-évaluation est la mesure la plus appropriée lorsque l'on étudie la douleur ou l'inconfort. Nous avons choisi la douleur « importante » comme principale critère de jugement, avec un seuil au milieu de l'échelle, suivant les recommandations françaises sur la douleur chronique et la précédente étude [15,23].

L'association entre facteurs psychosociaux et scapulalgies a déjà été retrouvée dans des études [19,20], mais avec un niveau modéré de preuve [2,10]. La force de l'association entre la présence de facteurs psychosociaux et les scapulalgies importantes dans une étude transversale préliminaire est similaire à celle retrouvée dans la littérature avec des Odds ratios variant entre 0,5 et 2,9 [2,16]. Pour les cervico-scapulalgies, les associations avec la demande psychologique au travail et le manque de latitude décisionnelle sont retrouvées de façon assez constante dans des études transversales ou longitudinales, mais avec une courte durée de suivi [21,24,25]. Une étude de cohorte récente n'avait pas non plus retrouvé d'effet significatif des expositions psychosociales évaluées par le questionnaire de Karasek, avec un suivi de cinq ans [23].

Trois principaux types d'effets des facteurs psychosociaux peuvent conduire à une altération de la santé musculosquelettique [7] : les effets « en amont » liés à l'organisation du travail ont des conséquences directes sur les expositions biomécaniques (et aussi des effets sur les expositions psychosociales au sens usuel du terme) ; les effets d'interaction, directs et à court terme, entre exposition biomécanique et conditions stressantes ont été documentés par des études expérimentales ; les effets d'interaction à plus long terme entre exposition biomécanique et conditions stressantes pourraient être évoqués en termes d'effets du stress chronique. Il peut être difficile de distinguer un type de mécanisme d'un autre. McDonald et al. soulignent que les expositions biomécaniques professionnelles et psychosociales dans un environnement de travail réel, loin d'être indépendantes, sont extrêmement liées [11]. Par exemple, la répétitivité des gestes (classée « biomécanique ») et le manque de contrôle sur le travail (classé « psychosocial ») concernent (presque) les mêmes sujets. De ce fait, on peut parfois attribuer soit aux facteurs biomécaniques, soit aux facteurs psychosociaux, des troubles de santé qu'il serait plus pertinent d'attribuer à des facteurs d'organisation du travail qui « gouvernent la structure du travail » en amont. D'un

Tableau II

Facteurs chez les femmes associés à l'incidence de scapulalgies importantes entre 1994–95 et 2006 et ceux associés à persistance de scapulalgies importantes entre 1994–95 et 2006 en analyse univariée et multivariée (modèle logistique).

Facteurs évalués en 1994–95 (à l'exception de la retraite)	Scapulalgies importantes en 2006 chez les sujets sans scapulalgie importante en 1994–95 (facteurs liés à l'incidence)					
	Oui/non	Effectif total	Nombre de cas	Proportion	Univariée Odds ratios (IC 95 %)	Multivariée Odds ratios (IC 95 %)
Âge (années)					0,99 [0,94 ; 1,05]	0,98 [0,89 ; 1,08]
IMC (en kg/m <sup>2</sup> )					<b>1,04</b> <b>[1,00 ; 1,09]</b>	1,02 [0,96 ; 1,09]
Traumatisme épaules	Non	901	177	19,6	1	1
	Oui	39	4	10,3	0,47 [0,16 ; 1,33]	0,37 [0,08 ; 1,65]
Sport sollicitant l'épaule	Non	646	135	20,9	1	1
	Oui	294	46	15,7	<b>0,70</b> <b>[0,49 ; 1,01]</b>	<b>0,61</b> <b>[0,37 ; 1,02]</b>
Exposition biomécanique professionnelle (« abduction et charge »)	Non	915	174	19,0	1	1
	Oui	25	7	28,0	1,66 [0,68 ; 4,03]	1,10 [0,28 ; 4,33]
Demande psychologique	Non	380	61	16,1	1	1
	Oui	450	98	21,8	<b>1,46</b> <b>[1,02 ; 2,07]</b>	1,30 [0,84 ; 2,01]
Latitude décisionnelle	Non	353	60	17,0	1	1
	Oui	488	103	21,1	1,31 [0,92 ; 1,86]	1,07 [0,69 ; 1,66]
Job Strain Index	Non	560	96	17,1	1	1
	Oui	250	61	24,4	<b>1,56</b> <b>[1,09 ; 2,24]</b>	
Retraite anticipée avant 2001	Non	464	96	20,7	1	1
	Oui	187	35	18,7	0,88 [0,57 ; 1,36]	0,86 [0,49 ; 1,50]
Douleur épaule modérée en 1994–95	Pas de douleur	854	163	19,1	1	1
	Douleur modérée	86	18	20,9	1,12 [0,65 ; 1,94]	1,34 [0,62 ; 2,90]
Facteurs évalués en 1994–95 (à l'exception de la retraite)	Scapulalgies importantes en 2006 chez les sujets avec scapulalgies importantes en 1994–95 (facteurs liés à la persistance)					
	Effectif total	Nombre de cas	Proportion	Univariée Odds ratios (IC 95 %)	Multivariée Odds ratios (IC 95 %)	
Âge (années)				0,97 [0,88 ; 1,08]	1,03 [0,84 ; 1,26]	
IMC (en kg/m <sup>2</sup> )				1,04 [0,97 ; 1,12]	1,05 [0,95 ; 1,16]	
Traumatisme épaules	172	60	34,9	1	1	
	20	8	40,0	1,24 [0,48 ; 3,21]	0,72 [0,17 ; 3,13]	
Sport sollicitant l'épaule	142	53	37,3	1	1	
	50	15	30,0	0,72 [0,36 ; 1,44]	<b>0,34</b> <b>[0,10 ; 1,10]</b>	

Tableau II (Suite)

Facteurs évalués en 1994-95 (à l'exception de la retraite)	Scapulalgies importantes en 2006 chez les sujets avec scapulalgies importantes en 1994-95 (facteurs liés à la persistance)				
	Effectif total	Nombre de cas	Proportion	Univariéé Odds ratios (IC 95 %)	Multivariéé Odds ratios (IC 95 %)
Exposition biomécanique professionnelle (« abduction et charge »)	175 17	63 5	36,0 29,4	1 0,74 [0,25 ; 2,20]	1 1,75 [0,37 ; 8,31]
Demande psychologique	56 111	19 38	33,9 34,2	1 1,01 [0,51 ; 2,00]	1 1,27 [0,51 ; 3,16]
Latitude décisionnelle	57 110	21 38	36,8 34,6	1 0,90 [0,46 ; 1,76]	1 0,79 [0,32 ; 1,94]
Job Strain Index	93 68	32 25	34,4 36,8	1 1,11 [0,58 ; 2,13]	
Retraite anticipée avant 2001	92 50	32 16	34,8 32,0	1 0,88 [0,42 ; 1,84]	1 0,79 [0,28 ; 2,21]
Douleur épaule modérée en 1994-95					

En gras :  $p < 0,05$  ; en italique  $p = 0,05$  et  $0,10$ .

point de vue physiopathologique, les facteurs psychosociaux seraient impliqués dans l'apparition des douleurs musculaires en général par le biais de modifications systémiques au niveau des systèmes nerveux végétatif et central : celles-ci entraîneraient en effet une augmentation du tonus musculaire, une diminution de la vascularisation des tissus, une augmentation de l'œdème et des processus inflammatoires [26]. Certains auteurs évoquent par exemple des mécanismes impliquant la vasoconstriction et l'oxygénation des muscles, ou l'accumulation de métabolites (comme l'acide lactique) et de substances inflammatoires dans les muscles. Ainsi la « guérison » ou la réparation de lésions peut être rendue difficile du fait d'expositions psychosociales concomitantes, mais aussi du fait de l'organisation du travail qui ne permet pas, par exemple, de réduire provisoirement l'activité physique.

Alors qu'à court terme, les résultats semblaient évoquer une association entre expositions à des facteurs psychosociaux et scapulalgies importantes [16], cela n'a pas été confirmé sur le long terme. Il est possible que le facteur psychosocial joue un rôle dans la chronicité de la douleur ou dans la non-guérison, comme cela a déjà été étudié dans le cas des lombalgies chroniques [27-30], mais l'échantillon est trop petit pour conclure. D'après une revue systématique de la littérature [29], l'insatisfaction au travail est un facteur de risque de chronicité dans la lombalgie commune considérée comme ayant un fort niveau de preuve scientifique, les mécanismes causaux sous-jacents à cette association pouvant être variés. Néanmoins, nos effectifs étant insuffisants pour conclure sur ces effets, la méthodologie de

notre étude ne permet pas de savoir si les salariés ont continué à être exposés après la date de remplissage du questionnaire. Seul l'arrêt de l'exposition professionnelle au moment de la retraite avant 2001, chez les agents avec des douleurs importantes, apparaît comme possiblement protecteur, selon nos précédentes observations dans la même cohorte pour l'état de santé perçu [31]. Il est néanmoins évident que les raisons d'un passage à la retraite avant 2001 ne sont pas aléatoires car ils correspondent notamment à un départ anticipé de ceux qui ont été les plus exposés au facteur biomécanique.

En conclusion, cette étude ne met pas en évidence le rôle des facteurs psychosociaux dans la persistance des scapulalgies sur le long terme. En raison des limites de l'étude, des travaux complémentaires, prenant en compte des mesures répétées des facteurs psychosociaux, seraient nécessaires pour confirmer ce résultat.

## Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

### Remerciements

Les auteurs expriment leurs remerciements à EDF-GDF, en particulier au service général de médecine de contrôle et à la « Caisse centrale d'Action sociale du personnel des industries électriques et gazières ». Nous tenons également à remercier les participants de la cohorte Gazel et l'équipe responsable de la gestion de base de données Gazel.

La cohorte Gazel a été financée par EDF-GDF et l'Inserm ; elle a reçu des subventions du « Programme de Santé cohortes TGIR ». La présente étude est une partie du projet Workage [soutenu par l'Agence nationale de la recherche française (ANR) et par l'Agence

française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset)] et le projet Temis (Anses Agence française pour l'alimentation, de la santé environnementale et professionnelle, APR EST 2011 TEMIS).

## Annexe 1. Questionnaires de Karasek de 1995 (préliminaire) et version validée française.

Questionnaire	Latitude décisionnelle	Demande psychologique
Job content questionnaire 1995	Dans travail, dois apprendre choses nouvelles Travail nécessite un haut niveau de compétence Travail me demande d'être créatif Travail est répétitif Liberté décider ce que je vais faire Liberté décider volume que je vais faire	Travail nécessite que travaille très rapidement Travail nécessite que travaille très durement Il m'est demandé quantité de travail excessive J'ai assez de tps pour effectuer mon travail
Job content questionnaire validé	Dans travail, dois apprendre choses nouvelles Dans travail, effectue des tâches répétitives Travail me demande d'être créatif Travail me permet souvent de prendre décisions Mon travail demande un haut niveau de compétence Peu de liberté pour décider comment faire travail Dans mon travail, j'ai des activités variées Possibilité d'influencer déroulement du travail Occasion développer compétences professionnelles	Travail demande de travailler très vite Travail demande de travailler intensément Travail demande beaucoup d'efforts physiques Ne me demande pas quantité travail excessive Dispose tps nécessaire pour exécuter travail Dois déplacer, soulever charges très lourdes Travail exige des activités physiques Reçois ordres contradictoires Travail nécessite périodes concentration Tâches souvent interrompues avant la fin Mon travail est très bousculé Tâche dans une position inconfortable pendant une longue période Tâche avec tête ou bras dans position inconfortable Attendre travail des autres ralentit mon travail

## Références

- [1] Bongers PM, Kremer AM, ter Laak J. Are psychosocial factors, risk factors for symptoms and signs of the shoulder, elbow, or hand/wrist? A review of the epidemiological literature. *Am J Ind Med* 2002;41:315-42.
- [2] Van der Windt DA, Thomas E, Pope DP, et al. Occupational risk factors for shoulder pain: a systematic review. *Occup Environ Med* 2000;57:433-42.
- [3] Luime JJ, Koes BW, Hendriksen IJM, et al. Prevalence and incidence of shoulder pain in the general population; a systematic review. *Scand J Rheumatol* 2004;33:73-81.

- [4] Roquelaure Y, Ha C, Leclerc A, et al. Epidemiologic surveillance of upper-extremity musculoskeletal disorders in the working population. *Arthritis Rheum* 2006;55:765-78.
- [5] Silverstein B, Welp E, Nelson N, et al. Claims incidence of work-related disorders of the upper extremities: Washington state, 1987 through 1995. *Am J Public Health* 1998;88:1827-33.
- [6] Cassou B, Derriennic F, Monfort C, et al. Chronic neck and shoulder pain, age, and working conditions: longitudinal results from a large random sample in France. *Occup Environ Med* 2002;59:537-44.
- [7] Leclerc A, Chastang JF, Niedhammer I, et al. Incidence of shoulder pain in repetitive work. *Occup Environ Med* 2004;61:39-44.
- [8] Bodin J, Ha C, Petit Le Manac'h A, et al. Risk factors for incidence of rotator cuff syndrome in a large working population. *Scand J Work Environ Health* 2012;38:436-46.
- [9] Bernard BP. Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, the upper-limb, and low back. Cincinnati: National Institute of Occupational Safety and Health; 1997: 97-141.
- [10] Van Rijn RM, Huisstede BM, Koes BW, et al. Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder—a systematic review of the literature. *Scand J Work Environ Health* 2010;36:189-201.
- [11] MacDonald LA, Karasek RA, Punnett L, et al. Covariation between workplace physical and psychosocial stressors: evidence and implications for occupational health research and prevention. *Ergonomics* 2001;44:696-718.
- [12] Ostergren PO, Hanson BS, Balogh I, et al. Incidence of shoulder and neck pain in a working population: effect modification between mechanical and psychosocial exposures at work? Results from a one year follow-up of the Malmö shoulder and neck study cohort. *J Epidemiol Community Health* 2005;59:721-8.
- [13] Van den Heuvel SG, van der Beek AJ, Blatter BM, et al. Psychosocial work characteristics in relation to neck and upper limb symptoms. *Pain* 2005;114:47-53.
- [14] Macfarlane GJ, Pallewatte N, Paudyal P, et al. Evaluation of work-related psychosocial factors and regional musculoskeletal pain: results from a EULAR Task Force. *Ann Rheum Dis* 2009;68:885-91.
- [15] Descatha A, Teysseyre D, Cyr D, et al. Long-term effects of biomechanical exposure on severe shoulder pain in the Gazel cohort. *Scand J Work Environ Health* 2012;38:568-76.
- [16] N'Guyen V, Teysseyre D, Leclerc A, et al. Facteurs biomécaniques et psychosociaux sur les douleurs importantes de l'épaule : effets à long terme dans la cohorte Gazel. *Arch Mal Prof Environ* 2012;73:714-5.
- [17] Zins M, Leclerc A, Goldberg M. The French Gazel Cohort Study: 20 years of epidemiologic research. *Adv Life Course Res* 2009;14:135-46.
- [18] Goldberg M, Leclerc A, Bonenfant S, et al. Cohort profile: the Gazel Cohort Study. *Int J Epidemiol* 2007;36:32-9.
- [19] Miranda H, Punnett L, Viikari-Juntura E, et al. Physical work and chronic shoulder disorder. Results of a prospective population-based study. *Ann Rheum Dis* 2008;67:218-23.
- [20] Silverstein BA, Bao SS, Fan ZJ, et al. Rotator cuff syndrome: personal, work-related psychosocial and physical load factors. *J Occup Environ Med* 2008;50:1062-76.
- [21] Côté P, van der Velde G, Cassidy JD, et al. 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* 2008;33:560-74.
- [22] Fransson EI, Nyberg ST, Heikkilä K, et al. Comparison of alternative versions of the job demand-control scales in 17 European cohort studies: the IPD-Work consortium. *BMC Public Health* 2012;12:62.
- [23] Bodin J, Ha C, Sérazin C, et al. Effects of individual and work-related factors on incidence of shoulder pain in a large working population. *J Occup Health* 2013;54(4):278-88 [Epub 2012 May 29].
- [24] Palmer KT, Smedley J. Work relatedness of chronic neck pain with physical findings—a systematic review. *Scand J Work Environ Health* 2007;33:165-91.
- [25] Ariëns GA, van Mechelen W, Bongers PM, et al. Psychosocial risk factors for neck pain: a systematic review. *Am J Ind Med* 2001;39:180-93.
- [26] Aptel M, Cnockaert JC. « Lien entre les TMS du membre supérieur et le stress », BTS. *Newsletters* 2002;19-20:57-63.
- [27] Nguyen C, Poiraudreau S, Revel M, Papeard A. Lombalgie chronique : facteurs de passage à la chronicité. *Rev Rhum* 2009;76:537-42.
- [28] Melloh M, Elfering A, Egli Presland C, et al. Identification of prognostic factors for chronicity in patients with low back pain: a review of screening instruments. *Int Orthop* 2009;33: 301-13.
- [29] Fayad F, Lefevre-Colau MM, Poiraudreau S, et al. [Chronicity, recurrence, and return to work in low back pain: common prognostic factors]. *Ann Readapt Med Phys* 2004;47:179-89.
- [30] Williams RA, Pruitt SD, Doctor JN, et al. The contribution of job satisfaction to the transition from acute to chronic low back pain. *Arch Phys Med Rehabil* 1998;79:366-74.
- [31] Westerlund H, Vahtera J, Ferrie JE, et al. Effect of retirement on major chronic conditions and fatigue: French Gazel occupational cohort study. *BMJ* 2010;341:c6149.



# Does Obesity Modify the Relationship between Exposure to Occupational Factors and Musculoskeletal Pain in Men? Results from the GAZEL Cohort Study

Anastasia Evanoff<sup>1,2,3</sup>, Erika L. Sabbath<sup>4</sup>, Matthieu Carton<sup>1,2</sup>, Sebastien Czernichow<sup>1,2,5</sup>, Marie Zins<sup>1,2</sup>, Annette Leclerc<sup>1,2</sup>, Alexis Descatha<sup>1,2,6\*</sup>

**1** Univ Versailles St-Quentin, Versailles, France, **2** UMS 011 Population-based Epidemiologic Cohorts Unit Inserm, Villejuif, France, **3** Harvard College, Cambridge, MA, United States of America, **4** Harvard Center for Population and Development Studies, Cambridge, MA, United States of America, **5** Department of Nutrition, Assistance Publique-Hopitaux de Paris, Ambroise Paré University Hospital, Boulogne-Billancourt, France, **6** Occupational Health Unit/EMS (Samu92), AP-HP, University hospital of Poincaré, Garches, France

## Abstract

**Objective:** To analyze relationships between physical occupational exposures, post-retirement shoulder/knee pain, and obesity.

**Methods:** 9 415 male participants (aged 63–73 in 2012) from the French GAZEL cohort answered self-administered questionnaires in 2006 and 2012. Occupational exposures retrospectively assessed in 2006 included arm elevation and squatting (never, <10 years, ≥10 years). “Severe” shoulder and knee pain were defined as ≥5 on an 8-point scale. BMI was self-reported.

**Results:** Mean BMI was 26.59 kg/m<sup>2</sup> ±3.5 in 2012. Long-term occupational exposure to arm elevation and squatting predicted severe shoulder and knee pain after retirement. Obesity (BMI ≥30 kg/m<sup>2</sup>) was a risk factor for severe shoulder pain (adjusted OR 1.28; 95% CI 1.03, 1.90). Overweight (adjusted OR 1.71; 1.28, 2.29) and obesity (adjusted OR 3.21; 1.90, 5.41) were risk factors for severe knee pain. In stratified models, associations between long-term squatting and severe knee pain varied by BMI.

**Conclusion:** Obesity plays a role in relationships between occupational exposures and musculoskeletal pain. Further prospective studies should use BMI in analyses of musculoskeletal pain and occupational factors, and continue to clarify this relationship.

**Citation:** Evanoff A, Sabbath EL, Carton M, Czernichow S, Zins M, et al. (2014) Does Obesity Modify the Relationship between Exposure to Occupational Factors and Musculoskeletal Pain in Men? Results from the GAZEL Cohort Study. PLoS ONE 9(10): e109633. doi:10.1371/journal.pone.0109633

**Editor:** C. M. Schooling, CUNY, United States of America

**Received:** May 18, 2014; **Accepted:** September 4, 2014; **Published:** October 17, 2014

**Copyright:** © 2014 Evanoff et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability:** The authors confirm that all data underlying the findings are fully available without restriction. Data are property of INSERM (French National Research Institute) and UMS011. All Gazel data available on request to Dr M. ZINS, head of the Inserm UMS 011 (<http://www.gazel.inserm.fr/en/>).

**Funding:** The GAZEL Cohort Study was funded by EDF-GDF and INSERM and received grants from the “Cohortes Santé TGIR Program” (<http://www.iresp.net/appele-a-projet/10-financement-de-cohortes-tres-grandes-infrastructures-de-recherche-2009/>). This study is part of the French Agency for Environmental and Occupational Health Safety (Anses, TEMIS project <http://www.afssa.fr/ET/PPN0848.htm?pageid=2843&parentid=672&ongletId=5553#content>). Ms. Evanoff's contributions were supported by the Dunwalke Fund for International Research by Undergraduates from Harvard College. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

**Competing Interests:** EDF-GDF partially sponsored the GAZEL Cohort Study and did not interfere with the scientific work. This does not alter the authors' adherence to PLOS ONE policies on sharing data and materials.

\* Email: alexis.descatha@uvsq.fr

## Introduction

Musculoskeletal disorders (MSDs) include a wide range of diseases and injuries that comprise the largest category of work-related illnesses. MSDs are a main cause of disability, especially in aging populations. [1] Many studies have shown that occupational factors such as repeated exposure to arm elevation or squatting in the workplace predict subsequent MSDs in the shoulders and knees. [2–4] Previous analyses have been performed on these joints with a particular focus on associations between long-term biomechanical exposure and incidence of severe pain; consistent associations have been found between repeated exposure to arm

elevation or squatting in the workplace and severe shoulder and knee pain. [5,6] Self-reported symptoms of pain are the most common criterion used to assess the presence of MSDs. [1] Recommendations emphasize the use of instruments such as Nordic-style questionnaires, [7] especially with numeric scales of disability intensity and pain [8].

Obesity has become a worldwide epidemic, affecting over one-third of the adult population in the United States and about 15% in France. [9] Obesity may also be a risk factor for shoulder and knee pain [10–13]; thus, rising obesity rates could partly explain the increasing levels of observed musculoskeletal pain and disability [14].

In addition to being a risk factor for MSDs, recent studies have found that obesity may also be a consequence of occupational exposures, potentially mediating and/or modifying effects of occupational factors on musculoskeletal pain. [15–17] Furthermore, occupational exposures may be risk factors for obesity. [15,16] Some suggest that obesity may increase mechanical forces on the joints and change the metabolic demands of the body, both of which would lead to higher rates of MSDs. [13,18] Thus, the nature of the interrelationships between occupational exposures, obesity, and musculoskeletal pain are complex; more research is needed to understand the nature of such relationships.

This study aims to disentangle associations between occupational exposures, obesity, and pain in shoulders and knees. We hypothesized that occupational exposures may be significant contributors to incidence of musculoskeletal pain among overweight and obese patients, and that the relationships may differ for upper and lower limbs.

## Methods

### Sample

All participants in this study were members of the GAZEL cohort ( $n = 20\,625$ ; 15 010 are men), all employed by the French national power utility (EDF-GDF). [19] Each January, participants receive general questionnaires about lifestyle, health, and occupational status; in 2006 and 2012, questions about pain were included. Few subjects are lost to follow-up, although not all subjects answer the questionnaire every year. The present analysis included men who answered both 2006 and 2012 questionnaires ( $n = 9\,450$ ). For each analysis, we excluded those reporting severe pain in 2006 ( $n = 1\,443$  for shoulder,  $n = 1\,408$  for knee), to determine the number of new cases (incident cases) that developed by 2012. We also excluded underweight participants ( $n = 35$ ) and those missing 2006 data on smoking ( $n = 416$ ), and BMI ( $n = 246$ ). Thus, our final analytic  $n = 7310$  for shoulder pain and  $n = 7345$  for knee pain. We excluded women because of low prevalence of biomechanical exposures (4.82% exposed to elevated arms, 3.15% to squatting).

### Variables

The main outcome variables in this study are severe shoulder and severe knee pain in 2012. Pain was reported on a scale of 1 (lowest pain) to 8 (highest pain). We dichotomized the scale at the midpoint (severe pain  $\geq 5$ , little to no pain  $\leq 4$ ) based on French convention. [5,6,8] Our main exposure variable was lifetime exposure to each of eight physical occupational tasks, retrospectively self-reported in 2006. Participants were asked for how long (never,  $<10$  years,  $\geq 10$  years) they were exposed to “working with one or two arms in the air (above the shoulders) regularly or in a prolonged manner” (for shoulder pain analyses) or “working in a squatting position” (for knee pain analyses). BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) in 2006, using self-reported height and weight, was categorized as normal ( $\geq 18.5$ – $<25$   $\text{kg}/\text{m}^2$ ), overweight ( $\geq 25$ – $<30$   $\text{kg}/\text{m}^2$ ), or obese ( $\geq 30$   $\text{kg}/\text{m}^2$ ). We also included age and current smoking in 2006 (yes/no).

### Analysis

We determined the number of incident cases in 2012 by excluding those with severe pain in 2006, and counting only new cases. We modeled associations between occupational factors, BMI, and new shoulder or knee pain in 2012 using logistic regression, estimating odds ratios (OR) and confidence intervals (95% CI). We present results stratified by BMI categories to illustrate the modifying effect of BMI on relationships between

occupational factors and pain. Multiplicative interactions were also tested between BMI and occupational factors. All models were adjusted for age and smoking. Stata/MP, version 12.1, was used for all statistical analyses (StataCorp LP, College Station, TX, USA). Associations were considered statistically significant if two-tailed P-values were  $<0.05$ .

Authorization from the appropriate ethics committee was obtained (« Comité Consultatif National d’Ethique pour les Sciences de la Vie et de la Santé »; « Commission nationale de l’informatique et des libertés »).

## Results

A total of 8 753 men were included, aged 63–73 years old in 2012. Mean (SD) BMI was 26.59  $\text{kg}/\text{m}^2$   $\pm 3.5$  in 2012.

First, we examined associations between long-term ( $\geq 10$  years) elevated arms, BMI, and severe shoulder pain. Elevated arm exposure was associated with increased risk of severe shoulder pain (OR 1.33, 95% CI [1.13,1.57] for  $<10$  years, OR 1.61, [1.32,1.97]  $\geq 10$  years). When we added BMI, effects of occupational exposure were minimally attenuated to OR 1.31 [1.12,1.55] for  $<10$  years of exposure, and attenuated to OR 1.54 [1.26,1.90] for  $\geq 10$  years of exposure. (Table 1). Obesity is also an independent risk factor for shoulder pain; obesity in 2006 associated with 2012 incidence of severe shoulder pain (OR 1.28 [1.03,1.90]). Multiplicative interaction between elevated arms and BMI on severe shoulder pain was non-significant. However, because the interaction between squatting and BMI was statistically significant for knee pain ( $p = 0.019$ ), we present stratified analyses of both knee and shoulder pain in Table 2.

We next tested relationships between long-term squatting exposure, BMI, and knee pain. We found that squatting was associated with increased risk of severe knee pain (adjusted OR 1.23, 95% CI [1.03,1.46] for  $<10$  years, OR 1.48 [1.22,1.81]  $\geq 10$  years). When we added BMI, effects of occupational exposures increased to OR 1.91 [CI 1.23,2.98] for  $<10$  years of exposure, and increased to OR 3.78 [1.64,8.72] for  $\geq 10$  years of exposure (Table 1).

Overweight and obesity were also independent risk factors for knee pain; compared with normal-weight individuals, overweight was significantly associated with the incidence of severe knee pain in 2012 (OR 1.71 [1.28,2.29]), as was obesity in 2006 (OR 3.21 [1.90,5.41]). In stratified results for knee pain in 2012, exposure to squatting for  $\geq 10$  years in normal-weight individuals significantly predicts knee pain (OR 2.03 [1.42, 2.88]). However in obese and overweight participants, occupational exposure for  $>10$  years is not statistically significantly associated with knee pain (overweight: OR 1.32 [0.99,1.76]; obese: OR 0.99 [0.61,1.58]). For occupational exposure of  $<10$  years, stratified BMI is not significantly associated with knee pain.

## Discussion

This study found a complex interplay among overweight and obese patients’ long-term occupational physical exposures and severe pain in the shoulders and knees. As in previous studies, we found that elevated arms or squatting increases risk for shoulder and knee pain respectively, [1–4,10], that obesity is a significant risk factor for shoulder pain, and that overweight/obesity are significant risk factors for knee pain. [10,11] However, this study is novel in that we stratified by BMI, further dissecting the relationship between obesity, occupational exposures, and musculoskeletal pain.

We found that, for knee pain, the interaction between BMI and the occupational factor, squatting, was significant. Subjects of

**Table 1.** Association between severe musculoskeletal pain (knee and shoulder) and relevant occupational exposure among men without severe pain in the related region in 2006.

	Numbers of subjects, cases and %		Adjusted Analyses excluding BMI		Adjusted Analyses including BMI		
	Total (N)	Number of cases (n)	% Cases	OR <sup>c</sup>	95% CI	OR <sup>d</sup>	95% CI
<b>Shoulder Pain in 2012<sup>a</sup></b>							
<b>Duration of occupational factors (elevated arms)</b>							
Never	5013	512	10.21	1	-	1	-
<10 years	1866	250	13.4	1.33	1.13, 1.57	1.31	1.12, 1.55
≥10 years	978	149	15.24	1.61	1.32, 1.97	1.54	1.26, 1.90
BMI							
Normal	2762	306	11.08	-	-	1	-
Overweight	3841	433	11.27	-	-	0.97	0.83, 1.14
Obese	1032	147	14.24	-	-	1.28	1.03, 1.90
<b>Knee Pain in 2012<sup>b</sup></b>							
<b>Duration of occupational factors (squatting)</b>							
Never	4707	437	9.28	1	-	1	-
<10 years	1938	212	10.94	1.23	1.03, 1.46	1.91	1.23, 2.98
≥10 years	1259	165	13.11	1.48	1.22, 1.81	3.78	1.64, 8.72
BMI							
Normal	2811	232	8.25	-	-	1	-
Overweight	3885	418	10.76	-	-	1.71	1.28, 2.29
Obese	986	139	14.10	-	-	3.21	1.90, 5.41
Interaction Term						0.019	0.73, 0.97

% = proportion; OR = odds ratio; 95% CI = 95% confidence interval.

<sup>a</sup>excluding those with shoulder pain in 2006,

<sup>b</sup>excluding those with knee pain in 2006,

<sup>c</sup>adjusted on age and smoking status,

<sup>d</sup>adjusted on BMI, gender, age and smoking status.

doi:10.1371/journal.pone.0109633.t001

**Table 2.** Associations between occupational exposures and musculoskeletal pain, stratified on categories of body mass index (BMI).

Duration of elevated arms	Shoulder Pain 2012 and normal weight in 2006 <sup>a</sup>					Shoulder Pain in 2012 and overweight in 2006 <sup>a</sup>					Shoulder Pain 2012 and obese in 2006 <sup>a</sup>				
	Total (N)	Number of cases (n)	% Cases	OR <sup>c</sup>	95% CI	Total (N)	Number of cases (n)	% Cases	OR <sup>c</sup>	95% CI	Total (N)	Number of cases (n)	% Cases	OR <sup>c</sup>	95% CI
Never	1885	182	9.66	1		2399	245	10.21	1		577	72	12.48	1	
<10 years	612	83	13.56	1.42	1.07, 1.89	940	115	12.23	1.2	.94, 1.52	277	47	16.97	1.41	.94, 2.12
≥10 years	265	41	15.47	1.7	1.17, 2.47	502	73	14.54	1.54	1.15, 2.04	178	28	15.73	1.34	.83, 2.15
Knee Pain 2012 and normal weight in 2006 <sup>b</sup>															
Duration of squatting	Total (N)	Number of cases (n)	% Cases	OR <sup>c</sup>	95% CI	Total (N)	Number of cases (n)	% Cases	OR <sup>c</sup>	95% CI	Total (N)	Number of cases (n)	% Cases	OR <sup>c</sup>	95% CI
	Never	1778	126	7.09	1		2273	225	9.9	1		517	74	14.31	1
<10 years	642	54	8.41	1.21	.86, 1.70	987	113	11.45	1.22	.96, 1.56	264	37	14.02	0.98	.63, 1.52
≥10 years	391	52	13.3	2.03	1.42, 2.88	625	80	12.8	1.32	.99, 1.76	205	28	13.66	0.99	.61, 1.58

% = proportion; OR = odds ratio; 95% CI = 95% confidence interval.

<sup>a</sup>excluding those with shoulder pain in 2006,

<sup>b</sup>excluding those with knee pain in 2006,

<sup>c</sup>adjusted on age and smoking status.

doi:10.1371/journal.pone.0109633.t002

normal BMI have increased risk of knee pain when exposed to squatting for greater than 10 years, but obese subjects do not. This is interesting because one would expect obese patients to have an increased risk of knee pain over patients of a normal BMI, due to increased weight and pressure on the knees. One theory is that obese individuals are placed in positions with minimal squatting compared to normal-weight individuals. Of note, new cases of severe shoulder and knee pain seen in our cohort occurred after retirement, demonstrating prolonged negative health effects of obesity and work exposures after exposure cessation.

This study has several limitations. Retirement age in GAZEL is relatively young (55 years), though this should have minimal effects on associations between risk factors and outcomes. [5,6] We studied men only, although some studies have shown no difference between men and women in this area. [16] Occupational exposures were self-reported, though six years before the outcome measures, making biased reporting of exposure with respect to outcome unlikely. Exposure data (occupational and weight measurements) were relatively crude, though resultant random error likely biases results toward the null. It is outside of the scope of our study to describe trajectories of weight changes and occupational exposures during working years. It is conceivable, for instance, that workers' jobs became more sedentary as obesity developed, which might explain lack of associations between occupational exposures and severe pain in obese patients. Finally, this preliminary study did not examine other possible risk factors for MSDs, such as diabetes, other medical conditions, physical activity, or socioeconomic status, which may influence associations between occupational factors and BMI and explain some associations (between BMI and exposure for instance). Some

strengths of this study are the large sample size and characteristics of GAZEL, including high retention and survey response rates.

This study provides insight on the nature of relationships between occupational factors, obesity, and musculoskeletal pain. We found that, after adjusting for occupational factors, high BMI was associated with lower and upper limb pain, as was also shown in a recently published study that found that BMI was associated with musculoskeletal symptoms. [18] Our study builds on that finding by also considering the role of occupational exposures in this relationship. Although causality cannot be inferred, our findings suggest that obesity might be a moderating factor, as suggested for osteoarthritis recently. [13] Results for obese workers should be interpreted with caution, as such individuals may be placed in jobs that require less squatting, thus lowering risk for musculoskeletal symptoms.

From a practical perspective, these results suggest that musculoskeletal pain among obese and overweight workers might also be a result of working conditions (at least for the shoulder) and should be taken into account by physicians as such. From a research perspective, studies of associations between occupational exposures and specific MSDs would benefit from inclusion of metrics such as levels of obesity or adiposity in order to better explain observed associations.

## Author Contributions

Conceived and designed the experiments: ELS MC SC MZ AL AD. Analyzed the data: AE ELS MC AD. Contributed reagents/materials/analysis tools: AE ELS MC SC MZ AL AD. Contributed to the writing of the manuscript: AE ELS MC SC MZ AL AD.

## References

- Punnett L, Wegman DH (2004) Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol* 14: 13–23. doi:10.1016/j.jelekin.2003.09.015.
- Van Rijn RM, Huisstede BM, Koes BW, Burdorf A (2010) Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder—a systematic review of the literature. *Scand J Work Environ Health* 36: 189–201.
- Miranda H, Viikari-Juntura E, Martikainen R, Riihimäki H (2002) A prospective study on knee pain and its risk factors. *Osteoarthritis Cartilage* 10: 623–630.
- McWilliams DF, Leeb BF, Muthuri SG, Doherty M, Zhang W (2011) Occupational risk factors for osteoarthritis of the knee: a meta-analysis. *Osteoarthr Cartil OARS Osteoarthr Res Soc* 19: 829–839. doi:10.1016/j.joca.2011.02.016.
- Descatha A, Cyr D, Imbernon E, Chastang J-F, Plenet A, et al. (2011) Long-term effects of biomechanical exposure on severe knee pain in the Gazel cohort. *Scand J Work Environ Health* 37: 37–44.
- Descatha A, Teysseire D, Cyr D, Imbernon E, Chastang J-F, et al. (2012) Long-term effects of biomechanical exposure on severe shoulder pain in the Gazel cohort. *Scand J Work Environ Health* 38: 568–576. doi:10.5271/sjweh.3300.
- Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sorensen F, et al. (1987) Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon* 18: 233–237.
- Hagberg M, Violante F, Bonfiglioli R, Descatha A, Gold J, et al. (2012) 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* 13: 109. doi:10.1186/1471-2474-13-109.
- Charles M-A, Eschwège E, Basdevant A (2008) Monitoring the obesity epidemic in France: the Obepi surveys 1997–2006. *Obes Silver Spring Md* 16: 2182–2186. doi:10.1038/oby.2008.285.
- Anderson JJ, Felson DT (1988) Factors associated with osteoarthritis of the knee in the first national Health and Nutrition Examination Survey (HANES I). Evidence for an association with overweight, race, and physical demands of work. *Am J Epidemiol* 128: 179–189.
- Wearing SC, Hennig EM, Byrne NM, Steele JR, Hills AP (2006) Musculoskeletal disorders associated with obesity: a biomechanical perspective. *Obes Rev Off J Int Assoc Study Obes* 7: 239–250. doi:10.1111/j.1467-789X.2006.00251.x.
- Coggon D, Reading I, Croft P, McLaren M, Barrett D, et al. (2001) Knee osteoarthritis and obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 25: 622–627.
- Martin KR, Kuh D, Harris TB, Guralnik JM, Coggon D, et al. (2013) Body mass index, occupational activity, and leisure-time physical activity: an exploration of risk factors and modifiers for knee osteoarthritis in the 1946 British birth cohort. *BMC Musculoskelet Disord* 14: 219. doi:10.1186/1471-2474-14-219.
- Murray CJL, Vos T, Lozano R, Naghavi M, Flaxman AD, et al. (2012) Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet* 380: 2197–2223. doi:10.1016/S0140-6736(12)61689-4.
- Pandalai SP, Schulte PA, Miller DB (2013) Conceptual heuristic models of the interrelationships between obesity and the occupational environment. *Scand J - Work Environ Health*. doi:10.5271/sjweh.3363.
- Bonde JPE, Viikari-Juntura E (2013) The obesity epidemic in the occupational health context. *Scand J Work Environ Health* 39: 217–219. doi:10.5271/sjweh.3362.
- Luckhaupt SE, Cohen MA, Li J, Calvert GM (2014) Prevalence of obesity among U.S. workers and associations with occupational factors. *Am J Prev Med* 46: 237–248. doi:10.1016/j.amepre.2013.11.002.
- Viester L, Verhagen EALM, Oude Hengel KM, Koppes LLJ, van der Beek AJ, et al. (2013) The relation between body mass index and musculoskeletal symptoms in the working population. *BMC Musculoskelet Disord* 14: 238. doi:10.1186/1471-2474-14-238.
- Goldberg M, Leclerc A, Bonenfant S, Chastang JF, Schmaus A, et al. (2007) Cohort profile: the GAZEL Cohort Study. *Int J Epidemiol* 36: 32–39.