



## Les vibrations engendrées par les marteaux-riveteurs dans l'assemblage aérospatial

<p><b>Responsables :</b></p> <p>Paul-Emile Boileau, Jérôme Boutin, Pierre Drouin et Henri Scory, Programme sécurité-ingénierie, IRSST</p> <p><b>Problème de sécurité :</b></p> <p>Affections vasculaires du type phénomène de Raynaud</p>	<p><b>Groupe de travailleurs concerné :</b></p> <p>Les travailleurs du secteur de l'aérospatiale affectés aux opérations de rivetage</p>
---	--

### L'origine et le contexte

La relation de cause à effet entre l'exposition des mains aux vibrations engendrées par des outils et le phénomène de Raynaud, aussi appelé le blanchissement des doigts, est bien documentée dans la littérature scientifique. L'aérospatiale fait partie des secteurs qui présentent un risque élevé en cette matière. Selon une étude réalisée en Suède, 50% des travailleurs affectés au rivetage dans un chantier aéronautique développent des symptômes associés au phénomène de Raynaud après six années de travail en moyenne.

Le rivetage est une technique d'assemblage largement utilisée dans l'industrie aérospatiale pour fixer les tôles formant la carlingue à la structure de l'avion. L'opération nécessite deux travailleurs : un pour écraser les rivets d'aluminium en les percutant à l'aide d'un marteau-riveteur, l'autre pour soutenir le côté opposé à l'aide d'un bélier. Tous deux sont soumis à des vibrations mains-bras provenant du marteau-riveteur, un outil pneumatique percutant dont les vibrations et les chocs peuvent atteindre une intensité très forte.

Il existe différents modèles de marteaux-riveteurs et de béliers. Certains, apparus récemment sur le marché, sont qualifiés d'«antivibratiles». On connaît toutefois encore mal leur efficacité sur la réduction des vibrations agissant sur le système mains-bras. De même, on ignore l'effet des tampons amortisseurs parfois utilisés pour réduire le bruit engendré par les oscillations de la tôle sur les vibrations transmises aux mains.

La norme ISO 5349 constitue le guide le plus utilisé pour mesurer les vibrations d'un outil et pour établir la prévalence prévisible du phénomène de Raynaud. Parce qu'elle ne considère que les composantes vibratoires inférieures à 1250 Hz, ses recommandations ne couvrent toutefois pas l'ensemble des risques liés aux marteaux-vibrateurs, dont la fréquence des vibrations sont souvent nettement plus élevées. Pour la même raison, l'application aux marteaux-riveteurs d'une nouvelle méthode de mesure des vibrations à l'aide d'un bracelet exige une validation préalable.

### Les objectifs

- Évaluer les niveaux d'exposition aux vibrations mains-bras que subissent les opérateurs de marteaux-riveteurs et de béliers du secteur aérospatial et comparer des outils ayant reçu un traitement antivibrations à leurs équivalents conventionnels pour vérifier l'effet de ce traitement sur l'atténuation des vibrations;
- Évaluer l'efficacité sur l'absorption des vibrations mains-bras des tampons amortisseurs conçus a priori pour réduire l'exposition au bruit durant les opérations de rivetage;
- Évaluer dans quelle mesure l'efficacité des moyens antivibrations sur l'atténuation des vibrations concorde, lorsqu'elle est mesurée à l'aide d'un bracelet fixé au poignet des opérateurs, avec la mesure prise sur la poignée des outils.

### La démarche

Les essais ont été effectués en laboratoire à l'aide d'un montage expérimental reproduisant le plus fidèlement possible la situation existant en usine. Le montage consistait en un panneau de carlingue d'avion Boeing installé sur un échafaudage. Ce panneau comportait plusieurs rangées de trous pour l'insertion de rivets.

L'expérience a porté sur quatre types de marteaux-riveteurs : deux modèles conventionnels et deux modèles antivibrations correspondants, dont un commercialisé et l'autre modifié par les utilisateurs. Pour ce qui est des béliers, on a utilisé un bélier mécanique conventionnel et un bélier antivibrations offert sur le marché.

Deux opérateurs experts dans le domaine ont effectué les essais. Il s'agissait pour l'un d'insérer des rivets en aluminium de 4 mm à des hauteurs variant selon différentes configurations de travail et pour l'autre, de soutenir le panneau à l'aide d'un bélier pendant cette opération. Les marteaux-riveteurs et les béliers testés ont fait l'objet de différentes combinaisons et certains essais ont été réalisés avec des tampons amortisseurs conçus

pour réduire le bruit, mais qui pourraient également réduire les vibrations transmises aux mains des travailleurs.

Les vibrations ont été mesurées des deux côtés du montage (marteau-riveteur et bélier), d'une part au niveau de la poignée de l'outil à l'aide de trois accéléromètres miniatures, conformément à la norme ISO 5349, et d'autre part au niveau du poignet des opérateurs grâce à un bracelet également muni de trois accéléromètres. Ces mesures comparatives portaient sur le niveau d'accélération globale pondérée sur la poignée des outils, le niveau d'accélération globale non pondérée au poignet des opérateurs et le facteur de crête indiquant le degré impulsif des vibrations. Elles ont été effectuées à l'aide des spectres en fréquences de vibration pour chacun des axes et chacune des configurations de travail.

## Les résultats

Les résultats indiquent que c'est généralement l'opérateur du bélier qui est exposé aux niveaux de vibrations les plus élevés, particulièrement lorsqu'il utilise un bélier conventionnel. L'intensité des vibrations atteint alors de trois à cinq fois celles qu'on enregistre du côté du marteau-riveteur. Dans le cas d'un bélier antivibrations, les niveaux de vibrations sont comparables des deux côtés du panneau de la carlingue, sauf avec le marteau-riveteur antivibrations de marque commerciale ; celui-ci contribue à diminuer l'exposition de l'opérateur du marteau-riveteur, mais augmente en contrepartie celle de l'opérateur du bélier. Le compromis pour permettre des niveaux d'exposition comparables pour les deux opérateurs consisterait à combiner un marteau-riveteur conventionnel à un bélier antivibrations. Les tampons amortisseurs pour le bruit ont de leur côté un effet négligeable sur le niveau d'exposition aux vibrations.

Les mesures effectuées à l'aide du bracelet fixé au poignet des opérateurs montrent des niveaux de vibrations différents des mesures obtenues sur la poignée des outils. On peut toutefois en tirer sensiblement les mêmes conclusions, ce qui confirme une certaine cohérence des deux méthodes de mesure. Selon les chercheurs, l'énergie vibratoire sur la poignée refléterait peut-être plus précisément la différence entre les outils.

Si l'on considère les axes de mesure, on constate que les niveaux de vibrations mesurés sur la poignée des outils sont peu élevés dans les directions transversales, comparativement aux vibrations enregistrées dans l'axe de percussion.

Enfin, le degré impulsif des vibrations est relativement faible compte tenu du caractère percutant des marteaux-riveteurs. On constate cependant que ce facteur de crête est plus élevé lorsque les outils antivibrations sont utilisés, tant du côté du marteau que du bélier. Il est donc probable que les vibrations au niveau du marteau sont amorties par la transmission de l'énergie de frappe aux rivets, cette énergie étant ensuite redistribuée au marteau et au bélier.

## Les principales conclusions

La recherche a permis de comparer divers modèles de marteaux-riveteurs et de béliers utilisés pour l'assemblage dans l'industrie aérospatiale, dont des modèles antivibrations, et d'identifier ceux dont l'utilisation expose les opérateurs aux niveaux de vibrations les moins élevés. Elle a par ailleurs démontré que les tampons amortisseurs pour le bruit ont peu d'effet sur les vibrations transmises aux utilisateurs.

À la lumière des résultats obtenus, la combinaison d'un marteau-riveteur conventionnel et d'un bélier antivibrations semble la formule la moins dommageable pour les travailleurs. En appliquant la relation dose-effet de la norme ISO 5349 aux données obtenues pour cette combinaison, les chercheurs estiment qu'avec une exposition effective d'une heure par jour, le temps nécessaire pour voir apparaître les symptômes associés au phénomène de Raynaud chez 10% des travailleurs pourrait être de 9 à 13 années pour les deux types d'opérateurs. Cela contraste avec les trois à quatre ans prévus pour l'opérateur de bélier utilisant des outils conventionnels. L'utilisation d'outils antivibrations donnerait quant à elle une période de latence de 10 à 17 années du côté du marteau, mais de 6 à 14 années du côté du bélier.

Pour ce qui est des mesures à l'aide du bracelet, elles semblent concorder avec celles du niveau de la poignée de l'outil. La valeur absolue des niveaux de vibrations mesurées demeure toutefois difficile à interpréter, aucune norme ne permettant d'expliquer les résultats des mesures effectuées au poignet.

## L'applicabilité des résultats et le prolongement de la recherche

Les résultats de cette recherche peuvent être utiles dans une perspective de prévention des lésions professionnelles, tant pour le développement de marteaux-riveteurs et de béliers que pour le choix d'outils adaptés. Ils devraient notamment intéresser le fabricant qui a introduit sur le marché les nouveaux outils antivibrations ayant fait l'objet des essais, de même que les grandes entreprises engagées dans l'assemblage aérospatial.

Ces résultats pourraient probablement s'appliquer aussi aux opérations de rivetage dans d'autres secteurs que l'assemblage aérospatial, par exemple l'entretien des autobus.