

Le "mal des éoliennes"

L'impact sanitaire des éoliennes est largement documenté en ce qui concerne le bruit. Par contre, les maux tels que les acouphènes, les vertiges, les nausées, les céphalées rapportés par de nombreux témoignages de riverains d'éoliennes du monde entier ne font pas l'objet d'études sérieuses ; les gens qui en parlent en les imputant aux infrasons ont juste droit à quelques sourires moqueurs.

Ces maux ressemblent étrangement aux symptômes du mal de mer ou plus généralement du mal des transports. Il semblerait justement que ceux qui se plaignent sont le plus souvent sujets au mal des transports. Une étude australienne a regroupé ces symptômes sous le vocable de "sensations" qui, selon elle, semblent plus inconfortables que le bruit ; il n'a pas cependant été possible d'établir de corrélation entre les mesures d'infrasons dans l'environnement des éoliennes et ces "sensations". Les études du ministère de la santé canadien reconnaissent l'existence de ce type de plaintes mais les classent plutôt dans la catégorie psychosomatique ; la similitude des symptômes objets de ces plaintes rend cette interprétation peu probable car la somatisation prend en général des voies propres à chacun. Les conclusions des études sur le sujet sont que les infrasons émis par les éoliennes ne sont pas plus intenses que les infrasons naturels.

L'AFSSET¹, dans son rapport de 2008, affirme qu' "à l'heure actuelle, il n'a été montré aucun impact sanitaire des infrasons sur l'homme, même à des niveaux d'exposition élevés".

Cette phrase sortie de son contexte, à savoir un rapport entièrement consacré aux nuisances sonores des éoliennes, peut prêter à confusion et apparaître comme une contrevérité.

On sait en effet que les infrasons font partie des armes non létales car, à forte intensité, ils permettent de neutraliser les foules en provoquant des nausées et des vomissements (cf. ci-contre ce qu'écrivent des militaires sur les armes non létales).

LES ARMES NON LÉTALES par David HUMAIR (Collaborateur scientifique à l'état-major de planification de l'armée en Suisse. et Christophe PERRON (Ancien collaborateur scientifique à l'état-major de planification de l'armée en Suisse)
"... Plusieurs types d'armes non létales sont conçus expressément pour le contrôle de foule. Les principales sont : les jets d'eau à haute pression, les gaz irritants, mais aussi, et plus récemment, les armes à micro-ondes (sensation de brûlures) et les armes à infrasons (nausées). ..."¹.

L'existence ou tout au moins la possibilité de construire de telles armes apporte donc la preuve que dans certaines conditions des ondes acoustiques de basse fréquence peuvent provoquer des symptômes proche du mal de mer. Serait-il possible qu'il existe un "mal des éoliennes" ?

La similitude des symptômes invite à s'intéresser à l'étiologie du mal de mer qui est relativement bien étudiée.

En se référant de l'*Encyclopédie de santé et de sécurité au travail – Les risques professionnels* édité par le Bureau International du Travail à Genève sous le titre: *LES VIBRATIONS* (cf. Annexe) on peut préciser les conditions nécessaires pour provoquer le mal des transports :

- "Ne pas être privé d'un organe vestibulaire de l'oreille interne en bon état fonctionnel" (autrement dit avoir au moins un des deux vestibules fonctionnels)
- "Être soumis à des oscillations à des fréquences inférieures à 0,5 Hz environ"

Le vestibule émet des signaux qui rendent compte des accélérations de la tête ; il contribue ainsi au contrôle de l'équilibre du corps. L'apprentissage de l'équilibre suppose une mise en cohérence de ces signaux avec ceux reçus des yeux, des tendons et des muscles du reste du corps. Si les signaux émis par le vestibule ne sont pas en cohérence avec les autres informations reçues par le cerveau, le mal des transports apparaît. On sait donc que pour déclencher le mal des transports, il faut que le vestibule émette des signaux faussés

¹ Agence française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

Les capteurs accélérométriques du vestibule sont excités par les mouvements du liquide de l'oreille interne qui oppose sa force d'inertie aux accélérations du crâne. Les accéléromètres semblent se dérégler lorsque la tête est soumise à des accélérations cycliques de fréquence très inférieure à 1 hertz ; selon certaines études en laboratoire le pourcentage de personnes souffrant du mal des transports passe par un maximum pour une fréquence d'environ 0,2 hertz.

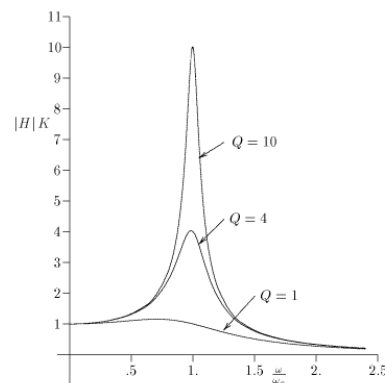
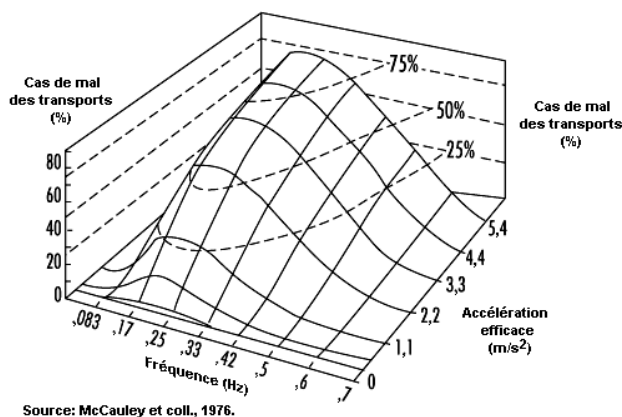
L'article de Benson (en Annexe) sur le mal des transports publié par le Bureau International du Travail à Genève montre un graphique (ci-dessous à gauche) représentant le pourcentage de cas de mal des transports en fonction de la fréquence des accélérations cycliques. Le graphique ci-dessous à droite représente l'amplitude des oscillations d'un système masse-ressort soumis à une oscillation forcée au voisinage de sa fréquence de résonance. La ressemblance de ce graphique avec celui de Benson suggère que les accéléromètres du vestibule de l'oreille interne se dérégleraient à cause d'un phénomène de résonance ; la fréquence de résonance du système liquide-capteurs accélérométriques du vestibule serait dans cette hypothèse de 0,2 hertz.

Extrait de l'introduction de la Thèse présentée pour obtenir le grade Docteur de l'Université de Strasbourg par Anne Charpiot – en vue soutenance publique prévue le 8 octobre 2010)

*L'oreille interne est un magnifique exemple des capacités d'ingénierie de la nature, en ce qu'elle constitue une structure anatomique très complexe, regroupant deux organes sensoriels d'une précision extrême - l'audition et l'équilibre - dans un volume équivalent à celui d'une pièce de un euro. Le sens de l'équilibre ne fait pas partie des cinq sens classiquement décrits. Nous ne prenons souvent conscience de son importance que dans les situations pathologiques où son dysfonctionnement déclenche des sensations pénibles d'illusion de mouvement, appelées vertiges, comme **dans le mal des transports** ou l'intoxication alcoolique aiguë. L'organe de l'équilibre (appelé « labyrinthe » postérieur en raison de sa morphologie) est situé dans l'oreille interne, comme l'organe de l'audition (la cochlée). Organe neurosensoriel très évolué, le système vestibulaire est largement impliqué dans le contrôle de la posture, la perception du mouvement du corps dans l'espace et les mouvements réflexes.*

Les mouvements oculaires permettant de fixer une cible, comme les mouvements extrêmement rapides d'ajustements posturaux utilisent principalement le système vestibulaire: il s'agit du réflexe vestibulo-oculaire (RVO) et du réflexe vestibulo-spinal, 10 fois plus rapides que les réflexes visuels (latence de l'ordre de 10 ms contre 100 ms).

Le vestibule permet de détecter des mouvements de la tête dans tous les plans de l'espace, grâce aux mécanorécepteurs que sont les canaux semi-circulaires (pour les accélérations angulaires) et le système otolithique (pour les accélérations linéaires comme la gravité). De nombreux dysfonctionnements peuvent altérer notre sens de l'équilibre et générer des vertiges. La physiopathologie de ces dysfonctionnements reste difficile à étudier par l'observation, en raison des petites dimensions, de la fragilité de ces organes, de la redondance des informations et des mécanismes de compensation du système nerveux central.



Les signaux d'accélération du crâne envoyés au cerveau sont émis à chaque fois qu'un mouvement du liquide vestibulaire, relativement au crâne, a une amplitude suffisante pour exciter les capteurs. Ce mouvement relatif peut être obtenu de deux façons : soit par des accélérations de la tête (le contenant) soit en exerçant une pression directement sur le liquide vestibulaire (le contenu); ce qui, dans ce dernier cas, peut être obtenu par des mouvements du tympan soumis à des fluctuations de pression résultant par exemple d'ondes acoustiques de basses fréquences.

En effet, à puissance équivalente, plus la fréquence est basse, plus l'énergie contenue dans un cycle de l'onde est importante. A un hertz l'onde effectue un seul cycle par seconde ; celui-ci contient autant d'énergie que 1000 cycles d'une onde à 1000 hertz. La déformation du tympan est fonction de

l'énergie contenue dans un cycle sera donc d'autant plus importante que la fréquence sera basse. A 0,2 hertz la longueur d'onde est de 1700m, c'est un tsunami comparé à une onde de 1000 hertz qui a une longueur d'onde de 34 cm.

Les fluctuations de pression atmosphériques engendrées par les ondes acoustiques sont infimes et même à basse fréquence les forces en jeu et les déformations du tympan ne sont probablement pas suffisantes pour exciter les capteurs accélérométriques du vestibule ; un phénomène de résonance peut peut-être fournir une amplification supplémentaire suffisante pour y parvenir.

Examinons les conséquences dans les cas du mal de mer, dans celui des ondes acoustiques des armes non létales et dans celui des éoliennes.

Cas du mal de mer : Si les oscillations du navire sont proches de la fréquence de résonance de 0,2 hertz, les mouvements du liquide vestibulaires vont être amplifiés comme dans une balançoire. Celle-ci accumule de l'énergie à chaque poussée rythmée avec la fréquence propre de la balançoire. Les capteurs accélérométriques vont envoyer des messages amplifiés donc faussés par rapport à une situation habituelle sur la terre ferme et les signes du mal de mer vont apparaître. Cependant les capteurs des yeux, des tendons et des muscles du reste du corps réagissent à l'environnement mouvant du bateau et un apprentissage devient possible ; cela explique pourquoi pour la plupart des gens le mal de mer disparaît en quelques jours.

Cas des armes non létales à infrason : Pour entraîner les symptômes du mal de mer rapidement il faut provoquer un mouvement du liquide vestibulaire important ; ce qui nécessite des ondes acoustiques de basse fréquence et de très forte puissance. Le mouvement du liquide ainsi provoqué ne correspond à aucun mouvement de la tête et les capteurs envoient donc au cerveau des signaux faussés ; lesquels vont déclencher les symptômes du mal de mer. Dans ce cas les yeux, les muscles et les tendons ne reçoivent aucun message de l'environnement et aucun apprentissage ne sera possible.

Cas des éoliennes : Les ondes acoustiques émises par les éoliennes sont sans doute insuffisantes pour exciter les capteurs accélérométriques sauf si elles entre en résonance avec le système vestibulaire. Celui-ci, comme pour la balançoire, pourra peut-être accumuler suffisamment d'énergie pour envoyer au cerveau des messages de mouvement de la tête sans rapport avec la réalité. Comme dans le cas précédent aucun apprentissage n'est possible ; les riverains des éoliennes qui seront incommodés n'auront plus qu'à déménager. C'est, semble-t-il, ce qui se passe selon les témoignages rapportés.

CONCLUSION

L'oreille interne contient deux organes, dont les fonctions sont différentes. Le vestibule, organe de l'équilibre, et la cochlée, organe de l'audition, partagent le même liquide. Celui-ci sert de voie de transmission à leurs capteurs respectifs par des modes différents. Le liquide répercute les vibrations du tympan sous formes d'ondes acoustiques se déplaçant à la vitesse du son (1500m/s dans l'eau) ; dans la cochlée ces ondes vont exciter les milliers de capteurs. C'est seulement lorsqu'ils entrent en résonance, chacun pour sa fréquence propre, avec une onde acoustique qu'ils transmettront des messages, interprétés par le cerveau comme des sons.

Dans le vestibule ce sont les mouvements d'ensemble du liquide qui stimulent les récepteurs. Ces mouvements n'auront pas d'effet sur les récepteurs de la cochlée. On peut prendre comme exemple une cloche dont le battant aura deux effets : il fait tinter la cloche en provoquant une onde qui va se propager à l'intérieur du métal et réémettre des ondes acoustiques dans l'air et en même temps provoquer un mouvement de balancement de celle-ci.

Si les explications proposées sont exactes, on comprend que ce n'est pas en analysant les infrasons avec un sonomètre classique qui ne détecte pas les ondes inférieures à un hertz qu'on a des chances de trouver des corrélations avec les maux qu'on pourrait qualifier de "mal des éoliennes". Il ne s'agit pas de mesurer des sons mais des fluctuations barométriques transportées par le vent ou par des ondes

acoustiques de fréquences comprises entre zéro et un hertz ; on sort du domaine de l'acoustique puisque le vestibule n'envoie aucun message sonore au cerveau ; il est donc plausible qu'une éolienne inaudible à 500m perturbe suffisamment l'environnement pour provoquer de l'inconfort.

Certaines grandes éoliennes tournent à des vitesses de 9 ou 12 tours par minute soit à des fréquences de rotation de 0,15 ou 0,20 hertz ; leurs mats surmontés de masses de plus de 100 tonnes doivent aussi avoir des fréquences propres très basses. Dans leur conception actuelle plus les éoliennes sont grandes plus elles tournent lentement et plus elles risquent d'émettre des fluctuations barométriques cycliques dans des fréquences susceptibles d'incommoder les riverains.

Le rapport de l'AFSSET de 2008, qui a limité l'étude aux éoliennes installées à l'époque, nettement plus petites que les éoliennes géantes actuelles, a noté un nombre relativement faible de plaintes des riverains ; mais celles-ci ne concernent que le bruit des éoliennes. Le bruit comme les bruits de voisinages relèvent de la justice car il est possible de constater une infraction à une réglementation en vigueur. Les riverains qui souffrent d'autres maux tels que vertiges, nausées ou acouphènes ne vont évidemment pas porter plainte ; ils ne font pas la relation avec les éoliennes et il n'existe aucune réglementation sur les fréquences acoustiques émises ; ils vont consulter leur médecin.

Il y aurait peut-être lieu d'entendre le corps médical sur le sujet car ce ne peut-être que par leur canal qu'on a des chances de relier ce type de maux à la proximité des éoliennes.

En mai 2015 le congrès des médecins allemands, réuni à Frankfort, a lancé une alerte sur les risques représentés par les ondes inférieures à un hertz. Il n'a pas donné d'explications pour justifier ses propos. Ces explications seraient-elles politiquement non correctes dans un pays qui a beaucoup investi dans l'éolien ?

ANNEXE

Mickael J. Griffin Encyclopédie de santé et de sécurité au travail Les risques professionnels

LES VIBRATIONS

Michael J. Griffin

Une vibration est un mouvement oscillatoire. Le présent chapitre étudie les réactions de l'organisme humain aux vibrations transmises à l'ensemble du corps et à celles transmises aux mains, ainsi que les causes du mal des

...

Le mal des transports désigne les troubles qui peuvent être provoqués par des oscillations du corps à basse fréquence, par certains types de mouvements de rotation du corps, ainsi que par le déplacement relatif d'informations visuelles par rapport à l'observateur.

...

Les effets des vibrations transmises à l'ensemble du corps sont généralement les plus marqués aux fréquences les plus basses de la gamme, soit de 0,5 à 100 Hz. Dans le cas des vibrations main-bras, des fréquences de 1 000 Hz ou davantage pourraient avoir des effets nocifs. **Quant aux fréquences inférieures à 0,5 Hz environ, elles peuvent induire le mal des transports.**

...

LE MAL DES TRANSPORTS

Alan J. Benson

Le mal des transports n'est pas un état pathologique, mais une réaction normale à certains stimuli auxquels l'individu est peu accoutumé et, par conséquent, inadapté. Ce vocable recouvre essentiellement les diverses formes de mal des transports (mal de mer, mal de l'air, mal de l'espace, etc.). **Seules en sont vraiment exemptes les personnes privées d'un organe vestibulaire de l'oreille interne en bon état fonctionnel.**

Les mouvements susceptibles d'induire le mal des transports

Il existe de nombreux mouvements susceptibles de provoquer le syndrome du mal des transports. La plupart d'entre eux sont associés aux moyens de transport (bateaux, aéroglisseurs, aéronefs, automobiles, trains et, plus rarement, éléphants et chameaux). Les accélérations complexes générées par les installations foraines (balançoires, manèges, carrousels, montagnes russes, etc.) peuvent être des facteurs d'agression majeurs. En outre, bon nombre de cosmonautes souffrent de tels troubles (mal de l'espace) au moment où ils effectuent les premiers mouvements de la tête dans le milieu inhabituel d'apesanteur d'un vol orbital. Le syndrome de mal des transports peut également résulter du déplacement de certains stimuli visuels par rapport à un observateur immobile: les images du monde extérieur offertes par les simulateurs à poste fixe ou la projection sur grand écran de scènes filmées à partir d'un véhicule en mouvement en sont des exemples.

L'étiologie

La caractéristique essentielle des troubles liés au mal des transports est qu'ils suscitent des messages conflictuels de la part des systèmes sensoriels qui transmettent au cerveau les informations relatives à l'orientation spatiale et aux déplacements du corps. Le trait saillant de cette discordance est l'absence ou le défaut de correspondance entre les signaux émanant avant tout des yeux et de l'oreille interne, et ceux que le système nerveux central «s'attend» à recevoir de façon cohérente.

On peut distinguer plusieurs types de conflits. Le plus important est celui où les signaux de l'organe vestibulaire de l'oreille interne (le labyrinthe) sont discordants et où les canaux semi-circulaires (ce sont les récepteurs spécialisés des accélérations angulaires) et les otolithes (ce sont les récepteurs des accélérations linéaires) fournissent des informations conflictuelles.

Ainsi, lorsqu'on fait un mouvement de la tête dans une voiture ou dans un avion engagés dans un virage, les canaux semi-circulaires et les otolithes sont sollicités de manière atypique et fournissent des informations erronées et incompatibles, très différentes de celles qui résulteraient du même mouvement de la tête dans un environnement stable où l'accélération serait celle de la pesanteur (1 g). De même, les accélérations linéaires de basse fréquence (moins de 0,5 Hz), que l'on rencontre par exemple à bord d'un navire sur une mer agitée ou d'un avion traversant des turbulences produisent, elles aussi, des signaux vestibulaires contradictoires et sont de ce fait des causes importantes de mal des transports.

Le conflit entre les informations visuelles et vestibulaires (conflit visuo-vestibulaire) peut également être un facteur causal majeur. L'occupant d'un véhicule en mouvement incapable de voir à l'extérieur est plus exposé à des troubles que celui qui dispose d'une bonne référence visuelle externe. Le passager qui se trouve en dessous du pont d'un navire ou dans la cabine d'un avion perçoit le mouvement du véhicule par des indices vestibulaires, mais ne reçoit d'informations visuelles que sur son propre mouvement relatif par rapport à l'intérieur du véhicule. L'absence d'un signal «attendu» et concordant dans une modalité sensorielle particulière est également considérée comme un trait essentiel des troubles du mal des transports d'origine visuelle, dans la mesure où les indices visuels du mouvement ne sont pas accompagnés des signaux vestibulaires auxquels l'individu «s'attend» lorsqu'il est soumis au mouvement détecté par l'organe de la vue.

Les signes et les symptômes

Lors de l'exposition à un mouvement provocateur, les signes et les symptômes du mal des transports apparaissent généralement selon une séquence déterminée, les durées respectives dépendant de l'amplitude des stimuli et de la prédisposition du sujet. Il peut exister cependant des différences considérables d'un individu à l'autre, non seulement du point de vue de la prédisposition, mais aussi dans l'ordre d'apparition de signes et de symptômes particuliers; il n'est d'ailleurs pas même sûr que ceux-ci apparaissent tous. En général, le premier symptôme apparent est la gêne ressentie au niveau de l'épigastre. Cette sensation est suivie de nausées, de pâleur et de sueurs et s'accompagne souvent de bouffées de chaleur, d'hypersalivation et d'éruptions. Ces symptômes apparaissent en général assez lentement mais, si le mouvement se

poursuit, on constate une dégradation rapide du bien-être et une aggravation des nausées qui culmine avec des haut-le-cœur ou des vomissements. Les vomissements peuvent apporter un soulagement, mais ce dernier risque d'être de courte durée si le mouvement persiste.

D'autres symptômes du mal des transports sont moins systématiques. Une altération du rythme respiratoire, accompagnée de soupirs et de bâillements, est parfois un symptôme précurseur; une hyperventilation peut se manifester, notamment chez les sujets anxieux quant à la cause ou aux conséquences de leur malaise. Il est fait état de maux de tête, d'acouphènes et de vertiges et l'on rencontre même des cas de grave malaise prononcé, d'apathie et de dépression pouvant conduire le sujet à négliger sa propre sécurité et sa survie. Une sensation de léthargie et de somnolence peut prédominer après l'arrêt du mouvement provocateur et cette sensation peut être le seul symptôme apparent lorsque l'adaptation à un mouvement inhabituel intervient.

L'adaptation

Lorsqu'ils sont exposés de façon prolongée ou répétée à un mouvement provocateur déterminé, la plupart des individus ressentent des symptômes moins sévères. En général, après 3 ou 4 jours d'exposition continue (par exemple, à bord d'un navire ou d'un vaisseau spatial), ils se sont adaptés au mouvement et peuvent accomplir leurs tâches courantes sans entrave. Vue sous l'angle du modèle de non-correspondance, cette adaptation ou accommodation représente l'établissement d'un nouvel ensemble «d'attentes» au niveau du système nerveux central. Toutefois, de retour dans un environnement familier, cette adaptation ne sera plus appropriée et provoquera une réapparition des symptômes de mal des transports (*mal de débarquement*) jusqu'à ce qu'une réadaptation soit intervenue. Il existe des différences considérables entre individus du point de vue de leur rapidité d'adaptation, de la façon dont ils conservent cette adaptation et du degré auquel ils parviennent à transposer cette faculté protectrice d'adaptation d'un environnement mouvant à un autre. Une petite fraction de la population (probablement 5% environ) est malheureusement incapable de s'adapter ou s'adapte si lentement que les symptômes subsistent pendant toute la période d'exposition au mouvement à l'origine du trouble.

L'incidence

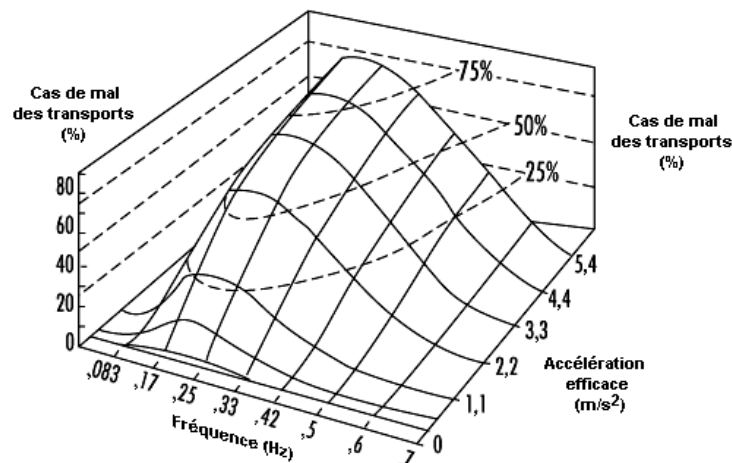
L'incidence du mal des transports dans un environnement vibratoire donné est régie par un certain nombre de facteurs, notamment par:

- les caractéristiques physiques du mouvement (amplitude, fréquence, direction d'application);
- la durée de l'exposition;
- la prédisposition du sujet;
- la tâche accomplie;
- les autres paramètres de l'environnement (olfactifs, par exemple).

Il n'est pas surprenant que la fréquence du mal des transports varie considérablement suivant l'environnement. Ainsi, la quasi-totalité des occupants d'un radeau de survie par gros temps vomissent; 60% des personnels volants souffrent à un moment donné de leur apprentissage du mal de l'air et chez 15% d'entre eux les troubles sont si graves qu'ils doivent interrompre leur formation. Par contre, moins de 0,5% des passagers de l'aviation civile sont affectés, avec une fréquence toutefois supérieure pour les petits avions volant à basse altitude et dans des zones de turbulence.

Les études conduites en laboratoire et sur le terrain montrent que dans le cas d'un mouvement oscillatoire vertical (qualifié à juste titre de haut-le-corps), l'effet le plus intense se situe vers 0,2 Hz (voir [figure 50.6](#)). Pour une amplitude vibratoire donnée (accélération de crête), l'incidence des troubles diminue assez rapidement au-dessus de 0,2 Hz; un mouvement à 1 Hz est dix fois moins provocateur qu'un autre à 0,2 Hz. Il en va de même pour les oscillations de fréquence inférieure à 0,2 Hz, bien que la relation entre incidence et fréquence ne soit pas clairement établie en raison du manque de données expérimentales; ce qui est certain, c'est qu'un environnement stable, de fréquence nulle, ne provoque pas de troubles à une accélération de 1 g.

Figure 50.6 Incidence des cas de mal des transports en fonction de la fréquence et de l'accélération des vibrations pour une exposition de 2 heures à un mouvement sinusoïdal vertical



Source: McCauley et coll., 1976.