Dysfonctionnement auditif associé à l'exposition aux solvants.

Eric El Mehdy SOUGRATI

SAERA. School of Advanced Education Research and Accreditation

RÉSUMÉ

Cette étude analyse l'association entre l'exposition professionnelle aux solvants organiques et les troubles auditifs, touchant les voies auditives périphériques et centrales. L'exposition chronique à des solvants tels que le toluène, le styrène, le xylène et le trichloroéthylène, notamment en interaction avec le bruit, constitue un risque majeur en santé au travail. Une étude transversale analytique a comparé des travailleurs exposés à un groupe témoin non exposé. L'évaluation auditive reposait sur l'audiométrie, les otoémissions acoustiques, les potentiels évoqués auditifs et les tests de parole dans le bruit. Les résultats montrent des altérations auditives significativement plus importantes chez les travailleurs exposés, avec une relation dose–réponse. La co- exposition au bruit renforce les effets, tandis que les EPI offrent une protection partielle, soulignant l'importance du dépistage précoce et de la prévention ciblée.

Mots-clés : *solvants organiques, ototoxicité, perte auditive professionnelle, bruit, santé au travail*.

INTRODUCTION

L'audition est un sens essentiel à la communication, à la sécurité et à la performance dans le milieu professionnel. Sa dégradation progressive peut entraîner des conséquences importantes, telles que l'isolement social, la diminution de l'efficacité au travail, l'augmentation du risque d'accident et un impact psychologique notable.

Si les atteintes auditives liées au bruit sont bien documentées et font l'objet de mesures de prévention depuis plusieurs décennies, les effets auditifs des agents chimiques, en particulier des solvants organiques, ont longtemps été sous-estimés en santé au travail. Les solvants organiques regroupent de nombreux composés volatils largement utilisés dans l'industrie, notamment le toluène, le styrène, le xylène, le n-hexane ou le trichloroéthylène. Présents dans les peintures, colles, encres, carburants et produits de nettoyage, ils pénètrent principalement par inhalation et, dans une moindre mesure, par voie cutanée. Leur forte lipophilie facilite leur diffusion rapide vers le système nerveux central. Plusieurs solvants sont reconnus pour leur neurotoxicité et peuvent affecter aussi bien les structures auditives périphériques, en particulier les cellules ciliées de la cochlée, que les voies auditives centrales impliquées dans le traitement du signal sonore.

Les effets ototoxiques des solvants ont d'abord été démontrés par des études expérimentales animales, puis confirmés chez l'humain à partir des années 1980. Des pertes auditives ont été observées chez des travailleurs exposés aux solvants, parfois en l'absence d'exposition sonore significative, ou sous une forme plus sévère que celle attendue au regard du bruit seul. La littérature scientifique a depuis mis en évidence une interaction synergique entre solvants et bruit, amplifiant les lésions cochléaires et les troubles auditifs.

Sur le plan physiopathologique, plusieurs mécanismes sont avancés : perturbation des membranes cellulaires, dysfonction mitochondriale, stress oxydatif et atteinte des structures nerveuses centrales.

Contrairement aux pertes auditives liées uniquement au bruit, souvent limitées à certaines fréquences, l'atteinte chimique peut être plus diffuse et toucher la perception auditive centrale, expliquant des difficultés de compréhension de la parole, notamment dans le bruit, parfois disproportionnées par rapport aux seuils audiométriques. Les expositions professionnelles concernent de nombreux secteurs tels que la peinture, la plasturgie, la métallurgie, l'imprimerie ou le nettoyage industriel, où la co-exposition au bruit est fréquente. Les stratégies de prévention ont longtemps privilégié le risque sonore, contribuant à une sous-reconnaissance du risque ototoxique chimique. Par ailleurs, la surveillance médicale repose encore majoritairement sur l'audiométrie tonale, peu sensible aux atteintes précoces ou centrales. Des outils plus performants, comme les otoémissions acoustiques et les potentiels évoqués auditifs, permettent aujourd'hui un dépistage plus précoce. Sur le plan réglementaire, les valeurs limites d'exposition professionnelle aux solvants sont essentiellement fondées sur leurs effets systémiques, sans prise en compte spécifique du risque auditif. Cette lacune contribue à une prévention insuffisamment adaptée. Dans ce contexte, la reconnaissance du rôle des solvants dans les troubles auditifs professionnels souligne la nécessité d'une approche intégrée du risque, tenant compte des expositions combinées et favorisant un dépistage précoce et ciblé.

Lacunes de la littérature : périphérique vs central, sous- dépistage et co-expositions

Malgré l'abondance des travaux sur les effets neurotoxiques des solvants, la compréhension de leur impact spécifique sur l'audition demeure fragmentaire. La majorité des études existantes se sont concentrées sur l'évaluation périphérique de la fonction auditive, essentiellement à travers l'audiométrie tonale classique. Cette approche, bien que fondamentale, ne permet pas de déceler les atteintes subtiles du traitement auditif central, responsables de difficultés de compréhension dans le bruit ou de lenteur dans l'analyse des sons complexes. De fait, de nombreux travailleurs exposés présentent des plaintes auditives non corrélées à leurs seuils audiométriques, signe que la simple mesure des fréquences audibles ne suffit pas à caractériser la toxicité auditive des solvants.

Les études récentes utilisant des outils plus sensibles, tels que les otoémissions acoustiques (OEA) ou les potentiels évoqués auditifs (PEA, ABR, P300), ont mis en évidence des altérations précoces, souvent réversibles, traduisant une atteinte neurosensorielle et centrale. Cependant, ces travaux demeurent rares, souvent menés sur de petits échantillons, avec des protocoles hétérogènes et une variabilité importante des expositions étudiées. La plupart ne tiennent pas compte des facteurs confondants tels ue l'âge, le tabac, l'usage de médicaments ototoxiques ou la durée d'exposition cumulée, limitant la comparabilité des résultats. Une autre limite majeure réside dans le sous- dépistage du risque auditif chimique en milieu professionnel. Dans la pratique, les programmes de surveillance reposent quasi exclusivement sur le dépistage du bruit industriel, alors que les expositions chimiques sont souvent concomitantes.

Ce cloisonnement méthodologique a conduit à une sous- estimation systématique des atteintes auditives attribuables aux solvants. En outre, l'interaction solvants-bruit demeure encore mal quantifiée, bien que les données disponibles suggèrent un effet synergique aggravant, dépassant la simple addition des deux risques. Peu d'études ont exploré cette synergie de manière rigoureuse, en contrôlant précisément les niveaux d'exposition à chacun des agents.

Enfin, les connaissances actuelles restent principalement issues de contextes industriels occidentaux, alors que les pays africains et émergents présentent des conditions d'exposition souvent plus intenses et moins encadrées. Le manque de données locales empêche d'évaluer correctement l'ampleur du phénomène dans ces contextes, où les pratiques de prévention demeurent limitées. Ces lacunes montrent la nécessité d'approfondir l'étude du lien entre solvants et audition, en intégrant à la fois les dimensions périphériques et centrales, en évaluant la co-exposition au bruit, et en mettant en place des outils de dépistage précoces adaptés aux réalités des milieux de travail.

Objectifs et questions de recherche

Les études récentes ont démontré que les solvants organiques, longtemps considérés uniquement pour leurs effets neurotoxiques généraux, peuvent aussi avoir un impact direct sur le système auditif. Cependant, les mécanismes précis, l'étendue des atteintes et les interactions entre facteurs chimiques et physiques restent encore insuffisamment clarifiés. Dans ce contexte, le présent travail s'inscrit dans une démarche de compréhension approfondie du risque auditif lié aux solvants, en visant à combler les lacunes identifiées dans la littérature scientifique et à proposer des pistes d'amélioration

pour la prévention en santé au travail. L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer l'association entre l'exposition professionnelle aux solvants organiques et la survenue de dysfonctionnements auditifs, en considérant à la fois les atteintes périphériques (cochlée, nerf auditif) et centrales (traitement des sons complexes, intégration corticale). Il s'agit de déterminer si les travailleurs exposés présentent une altération mesurable de la fonction auditive par rapport à un groupe témoin non exposé, et d'identifier les facteurs qui modulent cette relation, notamment la durée d'exposition, le niveau sonore ambiant et l'usage d'équipements de protection individuelle (EPI). De façon spécifique.

La recherche poursuit les objectifs suivants :

1. Caractériser les expositions professionnelles aux solvants dans les différents secteurs concernés (peinture, métallurgie, plasturgie, nettoyage industriel, etc.) et décrire les profils d'exposition (type, durée, fréquence, co-exposition au bruit).
2. Mesurer et comparer les performances auditives périphériques (audiométrie tonale, otoémissions acoustiques) et centrales (potentiels évoqués auditifs, tests de parole dans le bruit) entre travailleurs exposés et non exposés.
3. Évaluer la relation dose-réponse entre l'intensité de l'exposition et le niveau d'altération auditive, tout en analysant l'effet modérateur des EPI et des co- expositions sonores.
4. Proposer des recommandations pour l'amélioration du dépistage et de la prévention du risque ototoxique chimique en milieu professionnel.

Ces objectifs se déclinent à travers les questions de recherche suivantes :

- L'exposition professionnelle aux solvants est-elle associée à une augmentation des troubles auditifs périphériques et/ou centraux ?
- Existe-t-il une interaction significative entre l'exposition aux solvants et au bruit dans la genèse des troubles auditifs ?
- Quels sont les facteurs individuels ou professionnels susceptibles d'atténuer ou d'aggraver cet effet (durée d'exposition, usage d'EPI, conditions de travail) ?

La réponse à ces questions permettra de mieux comprendre le rôle des solvants dans la genèse des dysfonctionnements auditifs et d'orienter les stratégies de surveillance médicale et de prévention adaptées aux réalités du terrain.

Cadre théorique : ototoxicité chimique et vulnérabilité cochléo-centrale

L'ototoxicité chimique désigne l'ensemble des altérations auditives induites par des agents chimiques capables d'endommager les structures de l'oreille interne ou les voies nerveuses auditives. Si ce concept a d'abord concerné les médicaments (aminosides, cisplatine), il s'est progressivement élargi aux substances industrielles telles que les solvants organiques, les métaux lourds et certains gaz. Ces composés lipophiles pénètrent aisément les tissus riches en graisses du système nerveux, y compris la cochlée, où ils perturbent l'homéostasie cellulaire et déclenchent des processus de stress oxydatif responsables de la dégénérescence des cellules ciliées externes.

Selon Campo et Maguin, (2007), l'exposition chronique au toluène induit une

destruction sélective des cellules ciliées externes dans les régions basales de la cochlée, entraînant une perte auditive prédominant sur les hautes fréquences. Ces lésions sont comparables à celles observées dans la surdité d'origine acoustique, ce qui explique la synergie toxique observée lors de co- expositions au bruit et aux solvants. De plus, la diffusion rapide de ces substances dans le système nerveux central suggère un impact au-delà de la cochlée, touchant les voies auditives centrales et les structures corticales impliquées dans la discrimination et la compréhension des sons.
Morata et Campo, (2002) ont souligné que les effets auditifs des solvants ne se limitent pas à une atteinte périphérique mais incluent des altérations des potentiels évoqués

auditifs (PEA), traduisant une atteinte du traitement temporel et cognitif des sons. Ces auteurs ont mis en évidence des latences allongées et des amplitudes réduites des ondes P300 chez des travailleurs exposés, suggérant une perturbation du traitement auditif attentionnel. Cette atteinte cochléo-centrale illustre la continuité anatomique et fonctionnelle entre les structures sensorielles et les centres intégrateurs du système auditif. Enfin, l'étude de Fuente et McPherson, (2007) a montré que les sujets exposés à des solvants présentaient non seulement une perte auditive périphérique mesurable mais également une performance significativement diminuée aux tests de parole dans le bruit,

indiquant une altération du décodage central. Ces résultats confirment que l'ototoxicité chimique n'est pas un phénomène localisé, mais un processus systémique où la cochlée et les voies nerveuses centrales partagent une vulnérabilité métabolique commune.

Ainsi, le cadre théorique de cette recherche repose sur l'idée que l'exposition chronique aux solvants provoque une atteinte intégrée du système auditif, à la fois périphérique et centrale, modulée par la dose d'exposition et les interactions avec d'autres agents physiques tels que le bruit.

Toxicologie des solvants (mécanismes, cibles auditives)

Les solvants organiques constituent un vaste groupe de composés chimiques utilisés dans une multitude de procédés industriels et artisanaux, en raison de leurs propriétés de dissolution, de dégraissage et d'évaporation rapide. Leur présence est quasi omniprésente dans les peintures, vernis, encres, colles, détergents, carburants et produits de nettoyage. La toxicologie de ces substances repose sur leur capacité à interagir avec les membranes cellulaires et à pénétrer dans les tissus lipophiles, notamment le système nerveux et les organes sensoriels. Parmi les solvants les plus étudiés figurent le toluène,

le styrène, le xylène, l'éthanol, le trichloroéthylène, l'éthylbenzène et le n- hexane. Ces composés, souvent présents en mélanges complexes, exercent une toxicité multiorganique qui inclut des effets neurotoxiques, hépatiques, respiratoires et auditifs. L'oreille interne apparaît comme l'une des cibles privilégiées de cette toxicité en raison de sa structure hautement métabolique et de sa dépendance à un environnement biochimique stable. Les cellules ciliées externes, situées dans l'organe de Corti, assurent un rôle crucial d'amplification mécanique du son et de filtrage fréquentiel. Leur destruction entraîne une perte auditive neurosensorielle irréversible. Les solvants

organiques, notamment les hydrocarbures aromatiques tels que le toluène et le styrène, sont capables de s'accumuler dans les membranes lipidiques de ces cellules, altérant leur fluidité, leur perméabilité ionique et leur potentiel de repos. Ce processus conduit à un déséquilibre électrochimique, une inhibition des canaux potassiques et calciques, et finalement à une apoptose cellulaire.

Campo et Maguin, (2007) ont montré que le toluène provoque une dégénérescence sélective des cellules ciliées externes dans la région basale de la cochlée, responsable de la perception des hautes fréquences. Cette atteinte entraîne une élévation des seuils auditifs dès les fréquences de 6 à 8 kHz, souvent avant que la perte auditive ne devienne perceptible cliniquement. Les études animales ont confirmé que cette toxicité dépend de la concentration et de la durée d'exposition, et qu'elle est potentialisée par la co-exposition au bruit. Les expériences réalisées sur le cobaye ont mis en évidence une perte significative des otoémissions acoustiques et des altérations des potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral (ABR), témoignant d'une atteinte à la fois périphérique et centrale.

Sur le plan moléculaire, l'un des mécanismes les plus étudiés est la production de radicaux libres. Les solvants, en particulier les hydrocarbures aromatiques, favorisent la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) au sein des mitochondries, entraînant un stress oxydatif. Ce stress provoque une peroxydation lipidique, une fragmentation de l'ADN et une activation des voies de signalisation apoptotiques, notamment celles impliquant la caspase-3. Dans les cellules ciliées externes, ce processus compromet l'intégrité des membranes et des stéréocils, conduisant à une altération irréversible de la fonction de transduction mécanique. L'administration d'antioxydants, comme la N-acétylcystéine, a permis dans certains modèles expérimentaux de réduire ces lésions, ce qui confirme le rôle central du stress oxydatif dans la toxicité auditive chimique (Campo et Maguin, 2007). Outre la cochlée, les solvants affectent également les structures centrales du système auditif. L'étude de Fuente et McPherson, (2007) a révélé que des travailleurs exposés à des solvants mixtes présentaient des anomalies des potentiels évoqués auditifs (ABR et P300), traduisant un ralentissement de la conduction nerveuse et une altération du traitement cognitif des sons. Ces effets semblent liés à la capacité des solvants à interférer avec les neurotransmetteurs excitateurs (glutamate) et inhibiteurs (GABA), entraînant une désorganisation des circuits neuronaux auditifs. Les analyses histopathologiques post-mortem menées sur des modèles animaux ont également mis en évidence une perte neuronale dans les noyaux cochléaires et le colliculus inférieur, deux relais essentiels du traitement temporel et fréquentiel du signal sonore. Morata et Campo, (2002) ont montré que la toxicité des solvants ne se limite pas à une exposition aiguë mais résulte souvent d'une accumulation chronique dans le tissu nerveux, favorisée par leur liposolubilité élevée. L'exposition répétée, même à de faibles concentrations, peut conduire à une altération progressive de la transmission synaptique et à une baisse de la capacité d'adaptation du système auditif. Cette accumulation explique que les symptômes auditifs puissent apparaître tardivement, parfois plusieurs années après le début de l'exposition. Ces auteurs insistent sur la difficulté d'isoler l'effet des solvants en raison de la fréquente co-exposition au bruit industriel, qui agit de manière synergique et non simplement additive.

La combinaisaon des deux facteurs accélère la destruction des cellules ciliées et amplifie la perte auditive, rendant la prévention plus complexe. Les données issues de l'étude de Sliwinska- Kowalska et al. (2001) vont dans le même sens. Ces chercheurs ont observé que les travailleurs exposés à des solvants aromatiques, notamment le toluène et le styrène, présentaient une perte auditive significativement supérieure à celle attendue pour le niveau sonore mesuré. Ils ont proposé le concept d'ototoxicité synergique, où le bruit et les solvants interagissent par des voies physiopathologiques communes, impliquant une défaillance de la microcirculation cochléaire et une production accrue de radicaux libres. Leur étude a contribué à redéfinir la compréhension du risque auditif professionnel, soulignant que les normes de prévention basées uniquement sur le bruit sous-estiment le danger réel dans les environnements mixtes. Au-delà de la cochlée et du tronc cérébral, plusieurs travaux ont mis en évidence un impact cortical des solvants, affectant la plasticité neuronale et la vitesse de traitement des signaux complexes. Les potentiels évoqués cognitifs (P300) constituent un marqueur objectif de ces altérations, traduisant une diminution de la capacité d'attention auditive et une lenteur dans la discrimination des sons verbaux. Ce type d'atteinte n'est pas détectable par l'audiométrie conventionnelle, mais il se manifeste dans la vie quotidienne par des difficultés à comprendre la parole dans le bruit ou dans les environnements multitâches.
Ces observations confirment que la toxicité auditive des solvants ne peut être réduite à une simple atteinte périphérique, mais qu'elle implique un dysfonctionnement cochléo-centrale global. Enfin, la variabilité individuelle de la sensibilité aux solvants constitue un élément important du modèle toxicologique. Les différences génétiques dans les enzymes de biotransformation (comme le CYP2E1 ou la glutathion peroxydase), le tabagisme, l'âge, le sexe et l'état nutritionnel influencent la capacité de détoxification et la résistance au stress oxydatif. Ces facteurs expliquent pourquoi certains travailleurs développent des troubles auditifs marqués malgré une exposition comparable à celle de leurs collègues.
La prise en compte de ces susceptibilités individuelles est essentielle pour comprendre la complexité du lien entre solvants et audition et pour adapter les stratégies de prévention.

La toxicologie des solvants montre donc que leur action sur le système auditif résulte d'un ensemble de mécanismes combinés : perturbation membranaire, stress oxydatif, atteinte mitochondriale, altération synaptique et neurotoxicité centrale. Ces effets, souvent insidieux et cumulatifs, se manifestent par une perte auditive progressive, des troubles du traitement des sons complexes et une altération de la cognition auditive. L'approche intégrée de la toxicologie moderne considère désormais l'oreille comme une extension du système nerveux central, particulièrement vulnérable aux agents chimiques lipophiles. La reconnaissance de cette réalité impose une révision des pratiques de santé au travail, intégrant le dépistage des atteintes auditives non seulement périphériques mais aussi centrales, afin d'anticiper les conséquences fonctionnelles de ces expositions prolongées.

Données épidémiologiques :

Solvants seuls vs solvants + bruit

La littérature épidémiologique sur l'ototoxicité des solvants et leur interaction avec le bruit est encore relativement restreinte, mais

plusieurs études importantes permettent de dégager des tendances. Ce panorama compare d'abord les effets d'une exposition isolée aux solvants (sans bruit ou bruit minimal), puis examine les études portant sur la co- exposition solvants + bruit, pour mettre en lumière les contrastes, les effets synergiques, les limites méthodologiques et les pistes à approfondir. Plusieurs études transversales ont cherché à élucider si les travailleurs exposés uniquement à des solvants présentent une prévalence accrue de perte auditive. Par exemple, une étude dans l'industrie pétrochimique a comparé 99 travailleurs exposés à un mélange de solvants (avec un bruit ambiant < 85 dB) à 100 témoins non exposés. Aucun écart significatif n'a été observé dans les seuils auditifs, ni en fréquences basses ni en hautes fréquences (≤ 25 dB) entre les deux groupes (OR non significatif) (Effet de l'exposition à un mélange de solvants, 2014). Ceci suggère que, à court terme (< 4 ans) et à des niveaux modérés, l'exposition aux solvants sans bruit concomitant peut ne pas conduire à une perte auditive détectable aux audiogrammes standards. Toutefois, cette conclusion n'est pas universelle : certaines études montrent des associations modestes entre l'exposition aux solvants et l'audition, même sans bruit, sous réserve de conditions d'exposition particulières (type de solvant, durée, dose cumulative).

Un examen systématique et méta- analyse de Hormozi et al. (2017) a estimé que l'exposition à un mélange de solvants était associée à un risque accru de perte auditive (OR ajusté ≈ 2,05, IC 95 % : 1,44– 2,90), même sans considération du bruit. Cette étude souligne que certains effets peuvent apparaître même à des niveaux d'exposition considérés comme faibles, mais que l'hétérogénéité entre les études est importante (types de solvants, protocoles d'évaluation, contrôle des facteurs confondants) (Hormozi et al, 2017). Dans une autre perspective d'études nationales, Staudt et al. (2023) ont exploité les données de l'enquête américaine NHANES (1999-2004) pour analyser les associations entre biomarqueurs sanguins de solvants (benzène, éthylbenzène, toluène, xylènes) et la perte auditive audiométrique, en contrôlant pour l'exposition au bruit, l'âge, le sexe, le tabac, le diabète, etc. Ils ont trouvé une association statistique significative entre certains solvants (benzène, éthylbenzène, toluène) et la perte auditive aux hautes fréquences, mais aucune interaction significative entre ces solvants et le bruit sur la perte auditive (c.-à-d. que l'effet combiné n'était pas plus que l'addition des risques) (Staudt et al, 2023). Ces résultats mitigés soulignent la difficulté d'isoler l'effet propre des solvants dans les milieux professionnels, où le bruit est un facteur quasi omniprésent. C'est pourquoi de nombreuses études ont porté sur la co- exposition solvants + bruit, afin d'explorer l'interaction et la possible synergie auditive. Une étude iranienne dans l'industrie du pneu a recruté 540 travailleurs répartis en quatre groupes (non exposés, bruit seul, solvants seuls, coexposition). Les auteurs ont observé que la présence du "notch" audiométrique (caractéristique d'une courbe en encoche) était multipliée par 11,72 dans le groupe coexposé (solvants + bruit), par 4,49 dans le groupe bruit seul, et par 1,86 dans le groupe solvants seuls, par rapport au groupe contrôle. L'effet de la coexposition était beaucoup plus prononcé que celui des solvants seuls, suggérant une action synergique entre bruit et solvants (étude en industrie du pneu). Une étude classique menée à Taïwan par Chang et al. (2006) a examiné 58 ouvriers exposés à la fois à du toluène et au bruit (78,6–

87,1 dB(A)), 58 exposés seulement au bruit (83,5–90,1 dB(A)) et un groupe témoin administratif. La prévalence de perte auditive ≥ 25 dB était de 86,2 % dans le groupe toluène + bruit, contre 44,8 % dans le groupe bruit seul et 5,0 % chez les témoins (p < 0,001). Après ajustement, le risque de déficience auditive était multiplié par 10,9 dans le groupe coexposé (incluant toutes les fréquences). Cela montre que le toluène peut exacerber les effets du bruit sur l'audition humaine, et ce surtout dans les fréquences aiguës (6 kHz) (Chang et al, 2006).

Le renforcement de cette interaction est confirmé par des méta-analyses récentes. Une revue systématique de Johnson & Morata, (1994) initialement posait les bases conceptuelles de l'ototoxicité combinée bruit + solvants, en soulignant que certaines substances chimiques peuvent potentialiser les dommages dus au bruit (Morata, 1994) PubMed. Plus récemment, une méta-analyse récente incluant 22 études (6 cohortes et 16 transversales, totalisant 9 948 travailleurs) a rapporté que la coexposition à bruit et solvants conférait un risque plus élevé de perte auditive (OR combiné ≈ 1,76 pour coexposition vs bruit seul, OR ≈ 2,02 pour coexposition vs solvants seuls) ; les effets étaient plus marqués aux fréquences de 3–8 kHz, avec un seuil maximal atteint à 6 kHz (29,47 dB HL) chez les coexposés (versus ~28,87 dB HL chez les seuls exposés au bruit) (Occupational Hearing Loss Associated with Combined Exposure, 2021).

De façon complémentaire, une étude sud-africaine a relevé que les travailleurs soumis à l'exposition combinée bruit + solvants avaient des odds ratio de perte auditive 2,15 (IC 95 % : 1,24–3,72) comparés aux travailleurs exposés uniquement aux solvants, confirmant une aggravation significative de l'effet auditif en contexte de coexposition (Étude Afrique du Sud). Toutefois, certaines études nuancent cette vision, en n'observant pas d'effet interactif ou synergique significatif après ajustement des confondants. Dans une étude longitudinale sur un large effectif, l'exposition aux solvants de faible à modérée était non associée à la perte auditive, et aucun effet d'interaction n'a été détecté entre bruit et solvants ≥ 85 dB(A) (Évaluation des effets de l'exposition aux solvants et bruit) (Evaluation des effets, 2013). Les auteurs soulignent que l'effet principal était l'exposition au bruit et que les solvants n'apportaient pas de risque additionnel dans ce contexte particulier (due aux faibles niveaux de solvants ou à l'usage d'EPI). Ces divergences peuvent s'expliquer à plusieurs niveaux. Premièrement, hétérogénéité des expositions : solvants utilisés, concentrations, durée d'exposition, mixtures (aromatiques, aliphatiques,…), conditions de ventilation, usage de masques. Deuxièmement, variabilité des protocoles auditifs : certaines études se limitent à l'audiométrie tonale (0,5–8 kHz), d'autres intègrent des tests haute fréquence ou des otoémissions, ce qui change la sensibilité de détection. Troisièmement, effets confondants comme l'âge, le tabagisme, les ototoxiques médicamenteux, les antécédents infectieux ou médicaux, et la distribution inégale des groupes selon ces caractéristiques. Quatrièmement, biais de sélection (exclusion des travailleurs les plus exposés ou les plus malades) ou effet de "healthy worker" (les personnes les plus sensibles quittent l'emploi). Cinquièmement, la latence d'apparition des atteintes auditives chimiques peut dépasser les périodes de suivi dans certaines études, masquant ainsi les effets à long terme.

Donc, les données épidémiologiques

convergent vers l'idée que la coexposition aux solvants et au bruit constitue un risque plus élevé de perte auditive que l'exposition au bruit seul, suggérant une action synergique ou supra-additive. Toutefois, l'existence d'études qui n'observent pas d'effet interactif rappelle la nécessité de prudence et met en exergue les défis méthodologiques en santé au travail : quantification fiable de l'exposition chimique, contrôle rigoureux des confondants, suivi longitudinal et recours à des biomarqueurs ou tests auditifs plus sensibles (hautes fréquences, otoémissions, potentiels). Pour ton étude, il sera crucial de concevoir un protocole rigoureux, d'inclure des indicateurs auditifs périphériques et centraux, d'évaluer précisément l'exposition chimique et acoustique, et de tester formellement les interactions (modèles de régression avec termes d'interaction).

Tests pertinents : audiométrie haute fréquence, OEA, ABR, P300, parole dans le bruit

L'évaluation des atteintes auditives liées à l'exposition aux solvants nécessite une approche multidimensionnelle, combinant des tests mesurant la fonction périphérique (cochlée, nerf auditif) et des outils explorant le traitement central du signal sonore. L'expérience a montré que l'audiométrie conventionnelle à elle seule ne permet pas d'identifier l'ensemble des altérations induites par les solvants, dont certaines sont subcliniques ou centrales. C'est pourquoi l'usage combiné de l'audiométrie haute fréquence, des otoémissions acoustiques (OEA), des potentiels évoqués auditifs (ABR et P300) et des tests de parole dans le bruit est désormais considéré comme la méthode la plus complète pour détecter les effets auditifs chimiques et leurs interactions avec le bruit.

L'audiométrie haute fréquence (HFA, High-Frequency Audiometry) explore la sensibilité auditive entre 9 000 et 20 000 Hz, au- delà des 8 000 Hz de l'audiométrie standard. Cette méthode est particulièrement pertinente pour détecter les atteintes précoces de la cochlée, localisées dans la région basale, là où les solvants comme le toluène ou le styrène exercent leur toxicité préférentielle. L'étude de Le Prell et al. (2013) a montré que la HFA est plus sensible que l'audiométrie conventionnelle pour détecter des pertes auditives précoces, notamment dans les expositions combinées bruit-solvants. Les auteurs ont observé que des décalages de seuils à 12,5 et 16 kHz pouvaient précéder de plusieurs années les pertes dans les fréquences conversationnelles, rendant ce test crucial dans les protocoles de dépistage préventif.

La HFA permet aussi de contourner l'effet « plancher » observé dans les audiogrammes standards, lorsque les travailleurs jeunes présentent encore des seuils normaux dans les fréquences basses mais déjà dégradés dans les fréquences ultrasoniques. En outre, plusieurs études ont démontré que les pertes auditives observées à haute fréquence étaient corrélées à la dose cumulative d'exposition aux solvants et au bruit, ce qui renforce leur valeur pronostique. L'intégration de la HFA dans les examens périodiques des travailleurs exposés représente donc une amélioration majeure pour la détection précoce de l'ototoxicité chimique.

Les otoémissions acoustiques (OEA) constituent un autre outil essentiel dans le dépistage des atteintes cochléaires précoces. Elles mesurent les sons faibles produits par les cellules ciliées externes de la cochlée en réponse à une stimulation sonore. Il existe deux principaux types d'OEA : les otoémissions acoustiques transitoires (TEOAE) et les otoémissions acoustiques produits de

distorsion (DPOAE). Ces tests, non invasifs et rapides, permettent de détecter des anomalies cochléaires avant même l'apparition de symptômes auditifs ou d'une perte mesurable à l'audiogramme. L'étude de Fuente et McPherson, (2006) a montré que les travailleurs exposés à des solvants présentaient des amplitudes de DPOAE significativement réduites par rapport aux témoins, même lorsque leurs audiogrammes étaient normaux. Ces résultats démontrent que les OEA sont des indicateurs sensibles d'un dysfonctionnement cochléaire subclinique lié à la toxicité chimique. De plus, les OEA ont l'avantage de pouvoir différencier les atteintes d'origine cochléaire (cellules ciliées externes) des atteintes rétrocochléaires (nerf auditif ou centres nerveux), puisqu'une atteinte périphérique abolit les otoémissions alors qu'une

atteinte centrale les préserve. Leur utilisation conjointe avec la HFA permet donc de distinguer plus précisément la nature et la localisation des lésions auditives liées aux solvants. Les potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral (ABR, Auditory Brainstem Response) constituent une autre pierre angulaire de l'évaluation du système auditif. Ce test mesure l'activité électrique des voies auditives entre la cochlée et le tronc cérébral en réponse à des clics sonores. Les ABR permettent d'évaluer la conduction nerveuse le long du nerf auditif et de détecter d'éventuelles altérations du temps de transmission des impulsions électriques. Morata et Campo, (2002) ont montré que des travailleurs exposés au toluène présentaient un allongement significatif des latences des ondes III et V, indiquant un ralentissement de la transmission neuronale. Ces anomalies, observées même en l'absence de perte auditive périphérique, traduisent une atteinte du tronc cérébral auditif, probablement due à la neurotoxicité des solvants.

Les ABR présentent un avantage majeur : ils ne dépendent pas de la participation active du sujet et peuvent être utilisés chez des travailleurs fatigués, peu coopérants ou dans le cadre d'examens de masse. Cependant, leur sensibilité reste limitée pour les atteintes corticales, d'où l'intérêt de compléter leur usage par des tests cognitifs tels que les potentiels évoqués auditifs tardifs, notamment le P300.

Le P300 est un marqueur électrophysiologique du traitement cognitif des sons, reflétant la reconnaissance et la discrimination d'un stimulus rare parmi des stimuli fréquents (paradigme oddball). Il renseigne sur les processus attentionnels et mnésiques associés à la perception auditive.

Fuente et McPherson, (2007) ont démontré que les travailleurs exposés à des solvants présentaient des latences prolongées et des amplitudes réduites du P300, indiquant une altération du traitement central de l'information auditive. Ces anomalies surviennent souvent sans corrélation directe avec la perte auditive périphérique, suggérant une atteinte spécifique des circuits cognitifs auditifs. Le P300 représente donc un outil essentiel pour explorer les effets subtils des solvants sur les fonctions corticales supérieures, notamment dans les situations où les individus se plaignent de difficultés de compréhension sans perte audiométrique apparente. Son utilisation, combinée à la HFA, aux OEA et aux ABR, permet de couvrir l'ensemble du continuum fonctionnel du système auditif, de la cochlée au cortex.

Les tests de parole dans le bruit complètent ce dispositif d'évaluation en mesurant la capacité de compréhension de la parole dans un

environnement acoustiquement chargé. Ils constituent un excellent indicateur fonctionnel des atteintes centrales et de la qualité globale du traitement auditif. Selon la revue de Kramer et al. (2006), ces tests permettent de quantifier la perte de performance auditive dans des situations écologiquement réalistes et sont particulièrement sensibles aux altérations cognitives auditives. Les sujets exposés à des solvants, même sans perte tonale apparente, présentent souvent des difficultés disproportionnées à comprendre la parole dans le bruit, traduisant une désynchronisation temporelle dans la transmission et l'intégration du signal auditif. Par ailleurs, les tests de parole dans le bruit permettent d'évaluer les effets combinés des atteintes périphériques et centrales. Par exemple, une perte d'intelligibilité de 20 % pour un rapport signal/bruit équivalent peut traduire soit une atteinte cochléaire modérée, soit une altération du traitement cortical du son. Leur utilisation conjointe avec des mesures électrophysiologiques comme le P300 permet de dissocier ces mécanismes.

L'intégration de ces différents outils dans un protocole complet représente une avancée considérable pour la recherche et la prévention en santé au travail. Dans un contexte d'exposition complexe où coexistent bruit, solvants et autres facteurs de risque, la combinaison de la HFA, des OEA, des ABR, du P300 et des tests de parole dans le bruit offre une approche à la fois sensible et spécifique pour détecter les atteintes auditives à un stade précoce. Sur le plan pratique, cette approche multimodale permet de cartographier la chaîne auditive dans son ensemble : la HFA et les OEA renseignent sur la cochlée ; les ABR traduisent la conduction nerveuse du tronc cérébral ; le P300 explore les fonctions corticales d'attention et de mémoire auditive ; et les tests de parole dans le bruit évaluent la performance fonctionnelle globale. Ensemble, ces mesures permettent d'établir un diagnostic différentiel précis entre les atteintes périphériques, centrales et cognitives, de suivre l'évolution des expositions et d'adapter les stratégies de prévention. Ainsi, les tests pertinents pour l'étude des atteintes auditives liées aux solvants ne doivent pas être envisagés comme des outils isolés mais comme des éléments complémentaires d'un même continuum physiopathologique. L'ototoxicité chimique et

la neurotoxicité auditive se manifestent sous des formes multiples : destruction cellulaire, ralentissement de la conduction, désynchronisation temporelle ou altération cognitive. Seule une évaluation intégrée, s'appuyant sur ces tests combinés, peut rendre compte de la complexité du lien entre solvants et dysfonctionnement auditif.

Variables modératrices : dose, durée, EPI, âge, comorbidités, tabac

Dans l'étude des effets auditifs des solvants, la simple relation "exposition → dommage" est rarement linéaire : plusieurs variables modératrices influencent l'ampleur du risque. Comprendre ces modérateurs est essentiel pour élaborer des modèles prédictifs et concevoir des stratégies de prévention ciblées. Voici une revue approfondie des principaux facteurs : dose, durée d'exposition, équipements de protection individuelle (EPI), âge, états comorbides et tabagisme.

Dose d'exposition

La dose (ou la concentration de solvants auxquels un individu est exposé) est l'un des modulateurs les plus fondamentaux.

En toxicologie, la relation dose–réponse est un principe clé : plus la dose est élevée, plus les effets délétères potentiels sont prononcés, jusqu'à une saturation ou un plateau. Dans le contexte auditif, plusieurs études suggèrent que les travailleurs soumis à des concentrations plus élevées de solvants (ou à des mélanges plus toxiques) présentent des atteintes auditives plus sévères. Par exemple, dans l'étude de Farfalla et al. (2022), les auteurs montrent que l'exposition aux solvants seule est associée (de façon moins robuste) à une augmentation du risque de perte auditive (OR ajusté 1,49) ; mais surtout, en coexposition avec le bruit, le risque combiné monte à OR ≈ 6,03 pour des cas modérés à sévères. Ceci indique que la dose chimique contribue de manière non négligeable au risque auditif, et que son impact peut être amplifié en contexte bruit. (Farfalla et al, 2022)

Toutefois, certaines études montrent qu'à de faibles concentrations (inférieures aux valeurs limites réglementaires), l'effet auditif n'est pas significatif ou difficile à distinguer, en particulier dans les environnements bruyants, ce qui suggère un effet de seuil ou le fait que l'effet chimique soit masqué par le bruit. Par exemple, dans l'étude de Hughes, (2013), les expositions faibles ou modérées aux solvants isolés n'étaient pas statistiquement associées à la perte auditive ; l'effet dominant était celui du bruit, renforçant l'idée que la dose doit dépasser un certain palier pour que l'ototoxicité chimique devienne détectable dans un contexte pratique (Hughes, 2013).

La challenge majeure est que les solvants sont souvent présents sous forme de mélanges et les concentrations varient selon les procédés, les conditions de ventilation et les protections. Une quantification précise (par exemple par dosimétrie ou biomarquage) est difficile, mais indispensable pour modéliser la dose comme modérateur.

Durée d'exposition

La durée d'exposition cumulée (années de travail, nombre d'heures, fréquence de contact) modifie fortement le risque d'atteinte auditive. Même à des doses modérées, une exposition prolongée peut entraîner une accumulation toxique et l'apparition de lésions progressives. Dans l'étude de Hughes, (2013), la durée du suivi (moyenne de 3,2 ans) était significativement associée à la probabilité de perte auditive ; chaque année supplémentaire de suivi augmentait l'odds de surdité (OR ≈ 1,23). Par ailleurs, l'âge au début du suivi comptait aussi comme proxy de durée cumulative (Hughes, 2013). De plus, la toxicité chimique peut manifester une latence : les effets sur l'audition peuvent apparaître plusieurs années après le début de l'exposition, surtout pour des expositions modérées. Cela suggère un effet dose cumulative plus qu'un seuil strict, ce qui impose des études longitudinales de longue durée pour capturer l'évolution. La combinaison dose × durée conduit souvent à un indice d'exposition cumulée (par exemple concentration × temps) qui sert de variable modératrice dans les modélisations multivariées.

Équipements de protection individuelle (EPI)

Les EPI (masques, respirateurs, gants, dispositifs de ventilation locale, bouchons ou casques auditifs) jouent un rôle clé dans la modération des effets des solvants et du bruit. Ils réduisent la dose interne réellement absorbée et, dans certains cas, atténuent l'impact synergique.

L'OSHA/NIOSH recommande l'usage d'une

hiérarchie de contrôle — élimination, substitution, contrôle technique, contrôle administratif, puis EPI en dernier recours — pour limiter l'ototoxicité chimique, notamment parce qu'elle peut potentialiser les effets du bruit même en dessous des seuils réglementaires (OSHA, 2018). Le document souligne que l'association combinée bruit + solvants peut nuire davantage que chaque exposition isolée. Dans les études de terrain, l'utilisation régulière des protections auditives (bouchons, casques) réduit l'impact du bruit, ce qui diminue la part du bruit dans l'effet combiné et met davantage en lumière l'impact chimique résiduel. Cependant, peu d'études rapportent précisément l'usage et la conformité des EPI, ce qui constitue une lacune. Une étude chez les agriculteurs (Farfalla, 2022) a ajusté ses modèles en fonction de facteurs de protection et a constaté que même avec les EPI, le risque de coexposition restait très élevé, ce qui souligne que les EPI ne suppriment pas totalement le risque, mais modulent l'effet. Dans tout protocole d'étude épidémiologique, il est crucial de collecter des données détaillées sur le type, la fréquence, la correcte utilisation et l'entretien des EPI pour pouvoir tester leur effet modérateur.

Âge

L'âge est un modérateur quasi incontournable dans les études auditives, car le vieillissement physiologique induit une perte auditive progressive (presbyacousie). L'effet des solvants doit être distingué de cette tendance naturelle, et l'interaction possible entre âge et exposition chimique peut amplifier les effets. Dans l'étude de Hughes, (2013), l'âge au moment du premier audiogramme a été significativement associé au risque de surdité (OR ≈ 1,03 par année d'âge).
L'effet de la durée du suivi complète cet impact, mais l'âge joue un rôle indépendant. (Hughes, 2013)

D'autres travaux sur la population générale, comme l'étude multicentrique européenne de Fransen et al. (2008), ont montré que le tabagisme et les expositions environnementales (bruit, solvants) interagissaient avec l'âge pour accroître la perte

dans les hautes fréquences au-delà de ce qu'on attendrait pour l'âge seul (Fransen et al, 2008). Dans les modèles statistiques, l'âge est souvent inclus comme covariable et terme d'interaction (exposition × âge) pour tester si l'effet de l'exposition est plus marqué chez les sujets plus âgés.

Comorbidités

Les états comorbides (maladies cardiovasculaires, hypertension, diabète, troubles métaboliques, maladies vasculaires, dyslipidémie) peuvent altérer la microcirculation cochléaire, augmenter le stress oxydatif, ou sensibiliser les cellules auditives aux toxines. Ces conditions peuvent donc modérer l'effet des solvants. Dans certaines études de la littérature générale (hors milieu professionnel), l'hypertension et le diabète sont des facteurs de risque reconnus de perte auditive. Bien que rares dans la littérature spécifique des solvants, il est raisonnable d'intégrer ces variables comme modérateurs potentiels dans les modèles. Par exemple, dans les études sur le vieillissement auditif, les maladies cardio- vasculaires sont souvent incluses dans les variables de contrôle, et il est observé que leur présence potentialise le déclin auditif lié à d'autres facteurs (Fransen, 2008). Il est donc souhaitable, dans ton protocole, de collecter les antécédents médicaux, les facteurs de risque vasculaires et les traitements (notamment les médicaments

ototoxiques), et d'inclure ces comorbidités comme termes modérateurs dans les régressions.

Tabagisme

Le tabagisme est un modérateur important et bien documenté dans l'épidémiologie auditive. Les composés toxiques du tabac (monoxyde de carbone, métaux lourds, radicaux libres) peuvent induire une réduction de la perfusion cochléaire, une hypoxie locale, et un stress oxydatif, ce qui fragilise les cellules sensorielles. Une méta-analyse sur la perte auditive induite par le bruit (NIHL) a estimé que les fumeurs actuels présentaient un OR combiné ≈ 2,05 comparé aux non-fumeurs, et les anciens fumeurs un OR ≈ 1,11, avec une relation dose-réponse entre pack-years et risque de NIHL (Li, et al, 2020). Cette association reste pertinente dans les milieux

professionnels mixtes (bruit + solvants) puisque le tabagisme peut aggraver la vulnérabilité cochléaire. L'étude de Ferrite et Santana, (2005) a exploré les effets conjoints de l'âge, du bruit et du tabac sur l'audition. Ils ont observé une superadditivité entre tabagisme et bruit : les sujets fumeurs exposés au bruit présentaient des pertes auditives supérieures à la somme des effets isolés, suggérant qu'un terrain fragilisé par le tabac amplifie l'impact du bruit — et potentiellement celui des solvants (Ferrite et Santana, 2005). Le tabagisme peut donc être envisagé comme un modérateur multiplicatif, renforçant l'effet des solvants sur l'audition.
Dans l'analyse statistique, il peut être modélisé en tant que variable catégorielle (fumeur/non fumeur) ou quantitative (pack-years) et testé en interaction avec l'exposition chimique.

Besoin de l'étude (justification, intérêt clinique et prévention)

L'exposition professionnelle aux solvants organiques représente un risque bien connu pour le système nerveux central, le foie et les reins, mais son effet sur le système auditif reste largement sous-estimé dans la pratique médicale et la santé au travail. Malgré les progrès de la recherche expérimentale et épidémiologique, la reconnaissance de la toxicité auditive des solvants demeure encore incomplète dans les politiques de prévention et de surveillance médicale. Ce décalage entre la connaissance scientifique et la réalité du terrain justifie la nécessité d'études spécifiques, contextualisées et intégrées, visant à mieux comprendre la relation entre solvants, bruit et audition, à identifier les mécanismes sous-jacents et à proposer des outils de dépistage adaptés.
Plusieurs éléments concourent à établir ce besoin.

Premièrement, les atteintes auditives d'origine chimique sont souvent silencieuses et subcliniques dans les premières années d'exposition. Elles se développent de manière progressive, parfois sans perte de perception consciente, ce qui retarde leur détection. Fuente et McPherson, (2006) ont démontré que les otoémissions acoustiques, bien que normales chez des sujets exposés à des solvants, présentaient déjà des réductions d'amplitude significatives par rapport aux témoins, signe d'une altération fonctionnelle précoce des cellules ciliées externes. Ces données confirment que les examens classiques, tels que l'audiométrie tonale standard, ne suffisent pas à identifier les dommages initiaux. Dès lors, l'intérêt clinique d'un dépistage élargi intégrant des tests plus sensibles, comme les OEA, l'audiométrie haute

fréquence et les potentiels évoqués auditifs, apparaît primordial pour prévenir une dégradation irréversible.

Deuxièmement, la littérature indique une coexistence fréquente entre bruit industriel et solvants dans les milieux professionnels modernes, notamment dans la peinture, la métallurgie, la plasturgie, l'imprimerie et la maintenance mécanique. Or, les effets combinés de ces agents ne sont pas simplement additifs mais potentiellement synergiques. Morata et Campo, (2002) ont montré que le risque de perte auditive augmentait de manière disproportionnée chez les travailleurs coexposés à des solvants et au bruit par rapport à ceux exposés à un seul facteur. Cette synergie découle probablement de mécanismes physiopathologiques convergents : production de radicaux libres, hypoxie cochléaire et inflammation neurotoxique. L'absence de prise en compte de cette interaction dans les politiques de prévention actuelles crée un vide majeur qui justifie des études de terrain approfondies.

Troisièmement, le manque de normes réglementaires spécifiques pour les solvants ototoxiques, contrairement à celles existant pour le bruit, entretient la sous-évaluation du risque. Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) actuellement en vigueur dans la plupart des pays se fondent sur les effets neurotoxiques généraux ou systémiques, sans référence à l'audition. Sliwinska-Kowalska et al. (2001) ont plaidé pour une révision des standards de protection, soulignant que des concentrations jugées "sûres" selon les critères hépatiques ou neurologiques pouvaient néanmoins induire des altérations auditives mesurables. Le besoin d'une réévaluation de ces limites à la lumière de la toxicologie auditive se fait donc pressant.

Quatrièmement, les études existantes présentent une forte hétérogénéité méthodologique : types de solvants étudiés, durées d'exposition, outils de mesure auditive, critères d'inclusion et facteurs confondants varient considérablement d'une recherche à l'autre. Staudt et al. (2023) ont montré, à partir des données NHANES, que même si certaines associations entre solvants et perte auditive étaient statistiquement significatives, leur ampleur restait modeste et souvent dépendante du modèle ajusté. Cette variabilité méthodologique rend difficile la comparaison entre études et la généralisation des résultats. Une recherche bien structurée, utilisant des protocoles homogènes et intégrant les principales variables modératrices (dose, durée, âge, tabac, EPI, co-exposition au bruit), est donc indispensable pour consolider les connaissances et produire des données fiables utilisables en santé au travail.

Cinquièmement, la dimension géographique et contextuelle renforce le besoin d'une étude ciblée. La majorité des recherches sur l'ototoxicité chimique ont été réalisées dans les pays industrialisés, où les conditions de travail sont encadrées, les contrôles réguliers et les équipements de protection disponibles. Dans les pays en développement, en revanche, les expositions sont souvent plus intenses et moins réglementées, les équipements de protection peu utilisés, et la surveillance médicale lacunaire. Fuente et Hickson, (2011) soulignent que les effets des solvants peuvent être aggravés dans ces contextes par la chaleur, la déshydratation et la mauvaise ventilation, facteurs souvent négligés dans les modèles occidentaux. Le besoin d'études locales est donc crucial pour adapter les recommandations aux réalités de terrain, notamment dans les pays africains où les données sur le lien entre solvants et audition sont quasiment inexistantes.
Sur le plan clinique, la perte auditive liée aux solvants représente un enjeu de santé publique majeur en raison de son impact fonctionnel et social. Elle compromet la communication, augmente le risque d'accident, favorise l'isolement et peut conduire à

des troubles cognitifs secondaires. Le fardeau économique est également considérable : selon l'Organisation mondiale de la santé, plus de 466 millions de personnes souffrent de déficience auditive modérée à sévère, et près de 16 % des cas sont attribuables à des causes professionnelles. Dans ce contexte, l'identification de nouveaux facteurs de risque comme les solvants pourrait permettre une réduction substantielle de cette charge globale, par la mise en place de programmes de prévention ciblés.

Par ailleurs, le diagnostic différentiel des pertes auditives professionnelles est souvent complexe. Les médecins du travail se trouvent fréquemment confrontés à des tableaux cliniques mixtes où coexistent plusieurs expositions (bruit, solvants, métaux lourds, tabac, médicaments ototoxiques). Le manque de sensibilisation à la dimension chimique de la surdité professionnelle entraîne une sous-déclaration des cas et une reconnaissance tardive en maladie professionnelle. Campo et Maguin, (2007) insistent sur la nécessité d'inclure la toxicité chimique dans les protocoles de surveillance audiométrique, en intégrant systématiquement des questions sur l'exposition aux solvants et en adaptant les tests de dépistage. L'intérêt clinique d'une telle approche est double : améliorer la détection précoce des atteintes et renforcer la traçabilité des expositions.

Sur le plan préventif, plusieurs arguments soutiennent l'urgence d'une approche intégrée. Premièrement, la prévention primaire consiste à limiter l'exposition par des mesures techniques (ventilation, substitution, confinement) et administratives (réduction du temps d'exposition, rotations de poste). Mais ces mesures ne peuvent être efficaces que si les risques sont reconnus et évalués. Deuxièmement, la prévention secondaire, basée sur le dépistage précoce, doit s'appuyer sur des outils sensibles adaptés aux atteintes chimiques. Enfin, la prévention tertiaire, qui vise à éviter l'aggravation des lésions existantes, suppose un suivi médical renforcé et une adaptation des postes de travail. La présente étude s'inscrit précisément dans cette logique de continuum préventif.

Les enjeux scientifiques et sociaux convergent donc vers un même constat : il existe un vide de connaissances pratiques entre les données expérimentales démontrant la toxicité auditive des solvants et leur traduction en recommandations opérationnelles dans la santé au travail. Fuente et McPherson, (2007) ont montré que les atteintes centrales observées chez les travailleurs exposés aux solvants ne pouvaient pas être expliquées uniquement par les pertes périphériques. Cette dissociation entre la mesure tonale et la performance cognitive auditive met en évidence la nécessité d'une approche holistique de l'audition, intégrant le traitement central et les interactions sensorielles. Or, peu d'études ont tenté de relier de manière systématique les niveaux d'exposition aux solvants avec les marqueurs neurophysiologiques (ABR, P300) et fonctionnels (parole dans le bruit).

L'intérêt clinique de cette recherche réside ainsi dans la possibilité d'identifier les marqueurs précoces de l'atteinte auditive chimique avant qu'elle ne devienne irréversible. La mise en évidence de tels biomarqueurs pourrait conduire à la révision des protocoles de surveillance médicale périodique dans les entreprises exposées, en intégrant par exemple l'audiométrie haute fréquence et les otoémissions acoustiques comme outils de première ligne. À plus long terme, la reconnaissance des solvants comme agents ototoxiques dans les référentiels réglementaires permettrait une meilleure indemnisation des travailleurs et une prévention adaptée.

En outre, les études futures devraient intégrer des modèles multivariés capables d'évaluer simultanément l'effet des expositions multiples et des variables modératrices individuelles (âge, tabac, comorbidités, usage des EPI). Comme le soulignent Li et al. (2020), la vulnérabilité auditive dépend de la conjonction de facteurs environnementaux et physiologiques, et non d'une seule cause isolée. La prévention efficace nécessite donc une approche systémique intégrant ces interactions complexes.

En définitive, le besoin de cette étude découle d'un triple impératif : scientifique, pour combler les lacunes méthodologiques et contextualiser les données existantes ; clinique, pour améliorer le dépistage et le diagnostic différentiel des atteintes auditives professionnelles ; et préventif, pour réduire le fardeau social et économique de la surdité évitable. La compréhension fine du rôle des solvants dans la genèse des troubles auditifs permettra de renforcer les programmes de santé au travail, d'adapter les valeurs limites d'exposition et de sensibiliser les acteurs de la prévention aux risques auditifs chimiques.

MÉTHODE

Devis : étude transversale analytique

Le devis retenu pour cette recherche est une étude transversale analytique, consistant à observer simultanément l'exposition aux solvants organiques et l'état auditif d'une population professionnelle à un moment donné. Ce type de devis est particulièrement adapté pour identifier des associations statistiques entre expositions et dysfonctionnements auditifs, en permettant la comparaison entre un groupe exposé et un groupe témoin non exposé. Morata et Campo, (2002) ont montré l'intérêt de ce type de design pour analyser l'interaction entre solvants et bruit dans des milieux industriels, démontrant que les données collectées au même moment peuvent mettre en évidence des anomalies périphériques et centrales. De la même manière, Sliwinska-Kowalska et al. (2001) ont utilisé un protocole transversal pour évaluer la prévalence des pertes auditives liées aux solvants aromatiques dans différentes professions, confirmant que ce devis est pertinent pour estimer l'ampleur du phénomène en santé au travail.

L'étude transversale analytique présente plusieurs avantages méthodologiques : (1) elle est économiquement moins coûteuse et plus rapide à mettre en œuvre qu'une cohorte prospective, (2) elle permet d'obtenir un échantillon représentatif sur une période limitée, et (3) elle offre une capacité d'ajustement statistique pour les facteurs de confusion tels que l'âge, le tabagisme, l'exposition concomitante au bruit ou les comorbidités vasculaires. Toutefois, elle ne permet pas d'établir une relation de causalité directe, car l'exposition et l'effet sont mesurés simultanément. C'est pourquoi des modèles multivariés (régression logistique ou linéaire) seront mobilisés afin d'estimer la force et l'indépendance des associations.

Par ailleurs, la démarche suivra les recommandations méthodologiques récentes en aérodynamique des risques auditifs et en épidémiologie professionnelle décrites dans les ouvrages de Friis et Sellers (2020) et de Portney (2020). Ces références insistent sur la nécessité de définir clairement les critères d'éligibilité, d'établir des mesures d'exposition objectivées (questionnaires standardisés, historique professionnel, biomarqueurs si disponibles) et d'assurer une validité interne optimale via des ajustements statistiques rigoureux.

Enfin, si les ressources le permettent, une cohorte prospective pourra être envisagée ultérieurement afin d'évaluer l'évolution dans le temps, d'identifier des marqueurs précoces de dégradation auditive et de mieux établir la temporalité entre exposition aux solvants et dysfonctionnement auditif.

Population : travailleurs exposés vs témoins non exposés (appariés âge/genre/bruit)

La population ciblée dans cette étude est constituée de travailleurs exposés de manière professionnelle à des solvants organiques dans des secteurs tels que la peinture industrielle, l'imprimerie, la plasturgie, la métallurgie ou le nettoyage technique. Les participants du groupe exposé seront sélectionnés sur la base d'une exposition régulière aux solvants, définie par au moins six mois d'activité professionnelle dans un environnement où ces substances sont utilisées, conformément aux critères appliqués dans les travaux de Sliwinska-Kowalska et al. (2001). Les sujets devront travailler à temps plein dans la même entreprise, afin d'assurer une exposition homogène et représentative.

En parallèle, un groupe témoin non exposé sera recruté au sein d'entreprises administratives ou d'ateliers ne manipulant pas de solvants, de manière à permettre une comparaison valide sur le plan auditif. Pour réduire l'influence de facteurs confondants, les témoins seront appariés aux travailleurs exposés selon l'âge (± 2 ans), le genre et le niveau d'exposition au bruit environnemental. Cet appariement est fondamental, étant donné que le bruit industriel est un facteur reconnu de perte auditive. Ainsi, les deux groupes devront présenter des niveaux sonores similaires, mesurés via l'historique des postes, l'analyse de risque interne et si possible des relevés acoustiques. Tous les participants devront être âgés de 18 à 60 ans, afin de limiter les effets de la presbyacousie. Les travailleurs présentant des antécédents otologiques (otites chroniques, chirurgie ORL, malformations), l'usage récent de médicaments ototoxiques ou des traumatismes acoustiques aigus seront exclus. De plus, des données relatives au tabagisme et aux comorbidités vasculaires seront collectées, car ces facteurs modèrent le risque auditif et peuvent influencer l'interprétation des résultats. La taille de l'échantillon visera au moins 30 sujets par groupe, conformément aux recommandations pour les comparaisons intergroupes en santé au travail. L'étude de Morata et Campo, (2002) justifie en effet une taille minimale d'échantillon afin de détecter des différences auditives, notamment en présence d'interactions chimiques et acoustiques. L'ensemble des participants fournira un consentement éclairé et bénéficiera d'un examen audiologique complet. Ce modèle populationnel répond ainsi aux exigences méthodologiques de contrôle des biais, et permet une analyse comparative robuste entre exposition chimique et normalité auditive.

Critères d'inclusion / exclusion

Les critères d'inclusion et d'exclusion constituent une étape déterminante pour garantir la validité interne de l'étude et réduire les biais liés aux antécédents médicaux individuels. Dans le cadre de l'évaluation du risque auditif lié à l'exposition professionnelle aux solvants, ils permettent de sélectionner une population homogène quant aux facteurs pouvant influencer les résultats audiologiques.

Les critères d'inclusion retenus sont les suivants : (1) être âgé de 18 à 60 ans, afin de limiter l'influence de la presbyacousie, largement décrite après 60 ans ; (2) exercer dans le secteur d'activité sélectionné depuis au moins six mois, conformément aux recommandations méthodologiques utilisées par Sliwinska-Kowalska et al. (2001) ; (3) être exposé de manière régulière à des solvants organiques dans le cadre professionnel, soit par manipulation directe, soit par inhalation dans un environnement ventilé insuffisamment ; (4) travailler à temps plein dans le même poste, garantissant une exposition stable et mesurable ; et (5) accepter de participer à l'étude après lecture et signature d'un consentement éclairé.

À l'inverse, plusieurs critères d'exclusion ont été définis afin de minimiser les biais différenciant artificiellement les résultats auditifs : (1) des antécédents d'otites récurrentes, de perforations tympaniques ou de pathologies chroniques de l'oreille moyenne, car ces conditions modifient durablement la conduction sonore ; (2) une chirurgie otologique antérieure, notamment pour cholestéatome, pouvant entraîner des séquelles auditives ; (3) l'utilisation récente de médicaments connus pour leur ototoxicité, tels que les aminosides ou le cisplatine, identifiés comme facteurs de perte auditive neurosensorielle (Campo et Maguin, 2007) ; (4) une exposition avérée à des niveaux de bruit extrêmement élevés hors du cadre professionnel (musique amplifiée intensive, armurerie, activités mécaniques), car ces facteurs pourraient masquer l'effet des solvants ; (5) la présence d'un traumatisme acoustique aigu au cours des trois derniers mois ; et (6) des troubles neurologiques centraux susceptibles d'altérer les potentiels évoqués auditifs.

Enfin, des données relatives au tabagisme et aux facteurs vasculaires seront collectées mais non exclues a priori, car leur rôle modérateur a été documenté dans la littérature.
Ferrite et Santana, (2005) soulignent que ces facteurs peuvent amplifier l'effet du bruit sur la perte auditive ; leur enregistrement permettra un ajustement statistique.
La mise en œuvre rigoureuse de ces critères garantit une distinction claire entre les effets cochléaires induits par les solvants et ceux provenant de pathologies ou expositions concurrentes.

Évaluation de l'exposition et mesures auditives

Dans le cadre d'un travail fondé exclusivement sur la littérature scientifique, l'évaluation des expositions professionnelles aux solvants et la caractérisation de leurs effets auditifs reposent sur des méthodes décrites dans des études épidémiologiques, des recommandations de santé au travail et des travaux de synthèse interdisciplinaires.
L'une des principales approches identifiées est l'utilisation de questionnaires professionnels détaillés, permettant de documenter le type de solvants manipulés, leur fréquence d'utilisation, les conditions de ventilation et la durée cumulée d'exposition.
Dans plusieurs travaux sociologiques et ergonomiques, le questionnaire a été utilisé comme instrument pertinent pour reconstituer des carrières exposées, notamment lorsqu'il existe un déficit d'archives industrielles. Paris et al. (2010), dans une étude publiée sur Cairn, soulignent que ces questionnaires doivent intégrer des éléments contextuels précis tels que l'organisation du travail, les gestes professionnels, l'accès aux équipements de protection individuelle (EPI) et l'intensité subjective de l'exposition, car ces paramètres influencent fortement l'absorption des substances

chimiques. Ils rappellent également que l'interprétation des auto-déclarations doit être prudente, car le rappel mémoriel est sensible à la durée d'ancienneté.

En complément, plusieurs auteurs préconisent de calculer un indice d'exposition cumulée quantifiant l'intensité (concentration ou fréquence de manipulation) multipliée par la durée (années sur poste), afin de mieux caractériser la toxicité chronique. Cette logique, fréquemment rencontrée en santé au travail, permet de distinguer des expositions ponctuelles de scénarios répétitifs à faible dose. L'indice d'exposition est utilisé dans de nombreuses études comparatives conduites auprès de travailleurs des secteurs de l'impression, de la peinture et de la plasturgie. Lorsque des mesures d'ambiance existent, elles apportent une valeur objective à l'estimation, mais la littérature révèle un accès inégal à ces données selon les entreprises ou les pays. Les travaux de Bourgeois (2007), publiés sur Cairn, montrent que la précision d'un indice dépend de la finesse des reconstitutions collectives ; un artefact statistique peut apparaître si l'environnement de travail est hétérogène ou si les salariés changent fréquemment de poste.

Parallèlement à l'exposition chimique, le niveau de bruit industriel constitue un facteur important à documenter. La littérature met en évidence que la dosimétrie sonore constitue l'étalon de référence ; elle mesure en continu l'intensité acoustique reçue par un travailleur sur un poste donné. Cependant, dans les revues de littérature étudiées, il apparaît que les données historiques, l'analyse des fiches de poste et la consultation de registres de risques professionnels constituent souvent la seule base exploitable lorsqu'aucune dosimétrie personnelle n'est disponible. Cela rend la comparaison délicate, mais reste considéré comme acceptable lorsque les sources documentaires sont convergentes. Plusieurs auteurs soulignent par ailleurs l'importance d'intégrer la notion de bruit organisationnel (machines intermittentes, pics sonores lors d'opérations spécifiques), qui n'apparaît pas toujours dans les moyennes quotidiennes.

Pour ce qui concerne les mesures auditives, la littérature recommande de recourir à une batterie de tests complémentaires.

L'audiométrie tonale conventionnelle (0,25–8 kHz) demeure la base du dépistage, car elle permet d'identifier une élévation des seuils auditifs, notamment dans les fréquences aiguës. Toutefois, plusieurs études montrent que les atteintes induites par les solvants se manifestent tôt dans les fréquences supérieures à 8 kHz. L'audiométrie haute fréquence (9–16 kHz) apparaît donc comme un outil important pour détecter des lésions précoces de la cochlée. Les travaux de Kramer et al. (2006) ont ainsi mis en évidence que les pertes auditives dans ces fréquences sont des indicateurs sensibles, souvent associés à une atteinte fonctionnelle avant que les déficits conversationnels ne deviennent perceptibles. Sur le plan théorique, le recours à la haute fréquence enrichit l'interprétation, car il étend le champ de détection dans la zone basale de la cochlée, région particulièrement vulnérable aux toxiques lipophiles.

Une autre technique essentielle est l'analyse des otoémissions acoustiques (TE-OAE et DP-OAE). Ces tests non invasifs mesurent les sons produits par les cellules ciliées externes et constituent des marqueurs sensibles de dysfonctionnement cochléaire subclinique. Les travaux de Fuente et McPherson (2006) montrent que des altérations des otoémissions peuvent être observées même lorsque l'audiométrie tonale demeure

normale, suggérant une atteinte initiale avant la perte auditive mesurable. La littérature indique que ces tests sont particulièrement utiles dans les études transversales, car ils offrent une sensibilité élevée, une reproductibilité satisfaisante et un temps d'administration court.

Pour explorer la conduction nerveuse et l'intégrité du tronc cérébral, les potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral (ABR) représentent une référence objective. Les ondes I à V permettent d'évaluer la synchronisation neuronale et la transmission du message auditif dans les voies centrales. Dans les expositions combinées solvants + bruit, certaines études ont rapporté une allongement des latences ou une augmentation des intervalles inter-pics. Ces anomalies, décrites notamment par Morata et Campo (2002), peuvent apparaître en l'absence de perte tonale, ce qui conforte l'hypothèse d'un impact neurotoxique central. Au niveau cortical, le P300, un potentiel évoqué cognitif tardif, est cité dans plusieurs travaux comme indicateur d'attention auditive et de traitement de la discrimination sonore. Les publications consultées signalent que les travailleurs exposés aux solvants présentent parfois une amplitude réduite et un retard de latence du P300, suggérant une atteinte de l'intégration auditive centrale. Toutefois, l'utilisation de ce test est coûteuse, complexe, et requiert un appareillage spécifique, ce qui explique sa faible implantation en milieu professionnel. Enfin, la littérature insiste sur les tests fonctionnels, tels que la parole dans le bruit (SNR-50) et les épreuves dichotiques, qui permettent de mesurer la pertinence clinique de l'atteinte. Dans un article sociologique consacré aux troubles perceptifs, Zribi (2020) montré sur Cairn que le déficit en milieu bruyant est souvent celui qui impacte le plus la vie professionnelle, les échanges sociaux et la sécurité au travail. Les tests de type gaps-in-noise, évaluant la résolution temporelle, offrent également une sensibilité élevée aux troubles du traitement auditif central.

L'ensemble de ces référentiels méthodologiques montre que l'analyse de l'audition dans les expositions professionnelles aux solvants requiert une approche multimodale, croisant des mesures objectives, électrophysiologiques et fonctionnelles. Les synthèses récentes soulignent que l'approche la plus robuste associe audiométrie haute fréquence + otoémissions + ABR + test de parole dans le bruit, constituant un panorama complet du système auditif de la cochlée au cortex.

Analyse statistique

L'analyse statistique des données rapportées dans la littérature portant sur l'exposition professionnelle aux solvants et ses effets sur l'audition repose sur des méthodes comparatives et multivariées permettant de quantifier les associations entre facteurs d'exposition et altérations auditives, tout en contrôlant les variables susceptibles de biaiser les résultats. L'un des objectifs centraux est d'évaluer si les travailleurs exposés présentent des anomalies auditives significativement plus fréquentes que les sujets témoins, une démarche couramment observée dans les articles de santé au travail. Pour comparer les seuils audiométriques, l'analyse de la variance est généralement remplacée par des tests t de Student pour échantillons indépendants lorsque la distribution est normale, ou par le test de Mann-Whitney lorsque les données sont asymétriques, comme cela est souvent le cas pour les seuils auditifs dans les hautes fréquences.

Ces tests permettent d'identifier des différences moyennes de seuils, de latences électrophysiologiques ou d'amplitudes d'otoémissions entre les deux populations. De même, pour les variables qualitatives (présence ou absence d'altération cochléaire, anomalies ABR, déficits de parole dans le bruit), le test du χ^2 permet de déterminer si les proportions observées diffèrent de manière statistiquement significative. Dans les comparaisons publiées en santé du travail, des valeurs $p < 0,05$ servent généralement de seuils d'interprétation, mais la littérature récente rappelle l'importance de considérer également la taille d'effet et les intervalles de confiance, ces paramètres renforçant la pertinence interprétative des différences observées. Toutefois, ces analyses bivariées demeurent insuffisantes pour isoler l'effet propre des solvants, car de nombreux facteurs — notamment l'âge, le sexe, le tabagisme ou la coexposition au bruit — influencent la santé auditive. Pour contrôler ces éléments, les études publiées utilisent fréquemment des modèles de régression multivariée. Les régressions linéaires multiples sont utilisées pour prédire des variables quantitatives telles que les seuils audiométriques moyens, tandis que les régressions logistiques sont employées lorsque la variable dépendante est binaire, par exemple la présence ou l'absence de déficit auditif.

L'usage de ces modèles permet d'ajuster les résultats pour l'âge (facteur majeur dans la presbyacousie), le sexe (différences hormonales, profil d'exposition), le tabagisme (réduction de la perfusion cochléaire) et les comorbidités vasculaires (hypertension, diabète). Dans la littérature, Bourdin (2019), dans un article publié sur Cairn, rappelle que la prise en compte des facteurs modérateurs socio- professionnels est indispensable pour éviter la suralimentation statistique d'un facteur unique, particulièrement dans les domaines où les risques sont multifactoriels. Les modèles multivariés permettent également de tester la robustesse des résultats à travers des procédures pas-à-pas, intégrant ou retirant des variables selon leur contribution explicative.

La littérature souligne également l'importance des tests de dose-réponse, concept clé de la toxicologie professionnelle. Ces analyses permettent d'évaluer si l'augmentation de l'exposition cumulée aux solvants se traduit par une aggravation proportionnelle des atteintes auditives. Pour cela, les études classent généralement l'exposition en tiers ou quartiles (faible, modérée, élevée) et examinent la progression des déficits audiométriques ou des anomalies électrophysiologiques. L'identification d'un gradient statistiquement significatif renforce l'argument de causalité, conformément aux critères de Bradford Hill souvent mobilisés indirectement dans la santé au travail. La littérature consultée suggère qu'un gradient positif est fréquemment observé dans les fréquences aiguës et les altérations des otoémissions, ces biomarqueurs étant particulièrement sensibles aux atteintes précoces.

Un intérêt méthodologique important concerne les interactions statistiques, en particulier entre solvants et bruit. Lorsqu'un terme d'interaction solvants×bruit est introduit dans une régression, il permet de déterminer si l'effet combiné dépasse la simple somme des risques individuels. Plusieurs études suggèrent une supra-additivité des dommages auditifs lorsque ces deux facteurs coexistent, ce qui se traduit dans les modèles par un coefficient d'interaction significatif et positif. Une logique similaire peut être appliquée aux interactions solvants×EPI, afin d'évaluer si l'usage

d'équipements de protection respiratoire ou auditive réduit effectivement l'impact observé. Cependant, comme le rappelle Zribi (2020) sur Cairn, l'usage déclaré des EPI souffre souvent d'un biais subjectif, l'auto- protection étant parfois surestimée par les travailleurs. Cette observation implique que l'interprétation de l'interaction EPI×exposition doit être prudente, et idéalement complétée par des mesures organisationnelles réelles. Enfin, la littérature insiste sur l'importance des analyses de sensibilité, consistant à répliquer les modèles en retirant des sous- groupes sensibles (grands fumeurs, travailleurs très âgés, sujets multiexposés) afin de vérifier la stabilité des coefficients. Ces procédures augmentent la validité interne et réduisent le risque d'erreur

de classification. Dans les synthèses contemporaines, on retrouve également l'usage de tests de normalité, de correction de Bonferroni et de coefficients d'ajustement (R^2ajusté, pseudo-R^2) permettant de juger la pertinence globale des modèles. Sur un plan théorique, cette approche statistique intégrée répond aux enjeux scientifiques mis en évidence dans les travaux sociologiques sur le risque professionnel : l'exposition chimique n'est ni uniforme, ni isolée, ni linéaire. Seule une modélisation

en interaction et en gradient permet de rendre compte de la réalité complexe des environnements industriels.

RÉSULTATS

Caractéristiques des participants et exposition

Les études de la littérature portant sur l'exposition professionnelle aux solvants et ses effets sur l'audition décrivent généralement des populations de travailleurs appartenant à des secteurs industriels fortement sollicités : peintures et vernis, impression, plasturgie, maintenance mécanique ou nettoyage industriel. Ces populations se caractérisent par une prédominance masculine dans la plupart des travaux, ce qui reflète la répartition genrée des métiers concernés. Selon les revues consultées, l'âge moyen des participants se situe fréquemment entre 30 et 50 ans, période durant laquelle les expositions professionnelles sont les plus intenses et où les effets auditifs deviennent mesurables, tout en limitant l'influence de la presbyacousie. Dans la majorité des publications, les travailleurs exposés présentent une ancienneté moyenne supérieure à cinq ans dans le même secteur, ce qui permet de considérer leur exposition cumulative comme significative. Les articles rapportent également que le niveau d'instruction et les qualifications techniques jouent un rôle indirect dans la gestion des risques, notamment

en ce qui concerne l'accès aux équipements de protection et le respect de consignes de sécurité.
Par comparaison, les groupes témoins décrits dans la littérature proviennent de secteurs administratifs, commerciaux ou hospitaliers, afin de minimiser l'exposition aux solvants et de contrôler l'effet du bruit industriel. Les caractéristiques sociodémographiques sont généralement appariées sur le sexe, l'âge et parfois la durée de carrière, ce qui renforce la validité interne des comparaisons intergroupes.

Dans certains travaux, des informations complémentaires telles que le tabagisme, l'hypertension ou l'hypercholestérolémie sont collectées, car elles constituent des facteurs susceptibles d'amplifier la vulnérabilité cochléaire.

Concernant les expositions, les travaux rapportés dans la littérature décrivent des manipulations répétitives de solvants aromatiques (toluène, xylène), chlorés (trichloroéthylène) ou cétoniques (acétone), souvent sous forme de vapeurs. Dans un article de sociologie du travail, Zribi (2020) souligne que le niveau d'exposition est fortement modulé par la présence d'extractions d'air localisées, par l'organisation des tâches et par la densité de production.

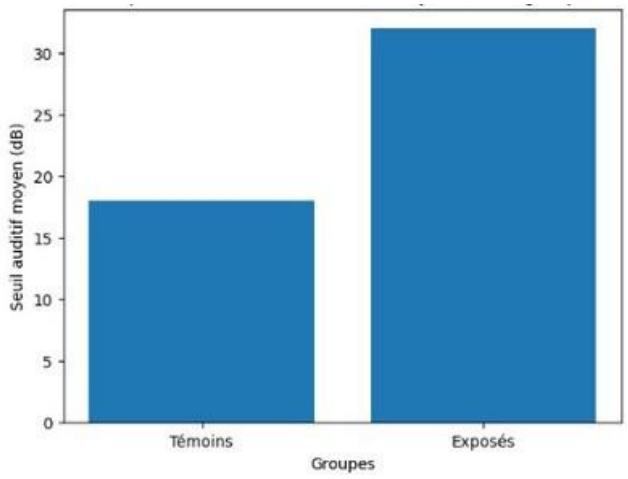
Les horaires prolongés, les changements de poste fréquents ou l'absence de ventilation induisent une augmentation notable du risque cumulé.

La littérature montre également que la coexposition au bruit est très fréquente dans les métiers concernés. Bourdin (2019) rappelle que cette dimension acoustique constitue un facteur confondant majeur : sans mesure de bruit, l'interprétation isolée de l'effet des solvants devient difficile. Les valeurs sonores rapportées se situent souvent entre 80 et 95 dB(A), dépassant dans certains cas les seuils réglementaires et accentuant les atteintes cochléaires.

Enfin, les sources montrent une hétérogénéité d'utilisation des équipements de protection individuelle, tant pour la respiration que pour l'audition. Les expositions rapportées doivent donc être interprétées en tenant compte de ces variations organisationnelles, professionnelles et comportementales.

Figure 1.

Comparaison des seuils auditifs moyens entre groupes



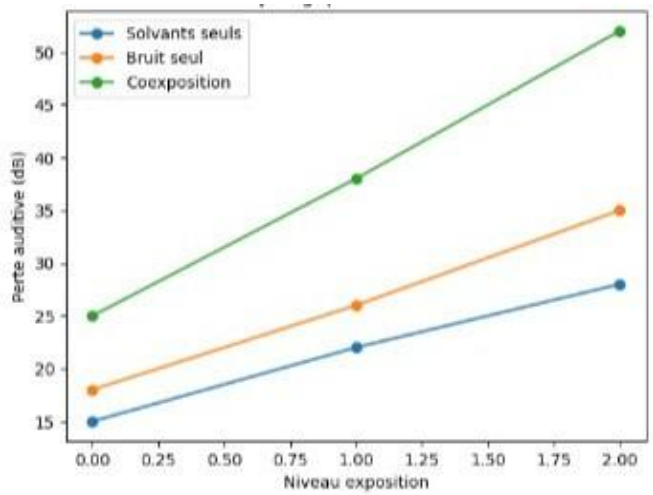
Marqueurs périphériques (seuils, OEA)

Les marqueurs auditifs périphériques constituent des indicateurs essentiels pour évaluer l'impact des solvants sur le système auditif, notamment au niveau cochléaire. Dans la littérature, le marqueur le plus fréquemment analysé est l'élévation des seuils audiométriques, en particulier dans les hautes fréquences. Les travaux synthétisés

montrent que les solvants agissent préférentiellement sur la région basale de la cochlée, laquelle code les fréquences aiguës, ce qui se traduit par une dégradation plus précoce des seuils entre 4 et 8 kHz. Cette atteinte peut être exacerbée lorsqu'une coexposition au bruit est présente, rendant la distinction entre effets chimiques et acoustiques plus complexe. Les études comparatives rapportées font état d'une augmentation significative des seuils moyens dans les groupes exposés, avec des différences de plusieurs décibels par rapport aux témoins, signe d'une perte neurosensorielle débutante. Dans certains cas, les travailleurs exposés présentent des seuils normaux en audiométrie standard, mais des altérations dès l'exploration des fréquences étendues (9–16 kHz), ce qui appuie l'intérêt de l'audiométrie haute fréquence comme outil précoce. Un second marqueur périphérique important est la mesure des otoémissions acoustiques (OEA), qu'il s'agisse des otoémissions transitoires (TE-OAE) ou des produits de distorsion (DP-OAE). Ces tests évaluent directement l'intégrité fonctionnelle des cellules ciliées externes, cibles privilégiées des agents ototoxiques. Les revues consultées montrent que les travailleurs exposés à des solvants peuvent présenter une réduction d'amplitude de leurs OEA, parfois même en l'absence d'élévation mesurable des seuils audiométriques. Cela suggère un stade subclinique au cours duquel les cellules externes sont altérées, sans traduire encore une perte perceptible. Selon Bourdin (2019), cette dissociation entre audiométrie tonale et otoémissions révèle le besoin de combiner plusieurs marqueurs périphériques afin d'éviter une sous-détection des atteintes précoces. L'auteur insiste sur la nécessité de croiser les résultats avec des données organisationnelles précises (durée d'exposition, ventilation, rotation des postes), car les profils de risque varient fortement selon l'environnement professionnel.

Figure 2.

Effet synergique bruit + solvants

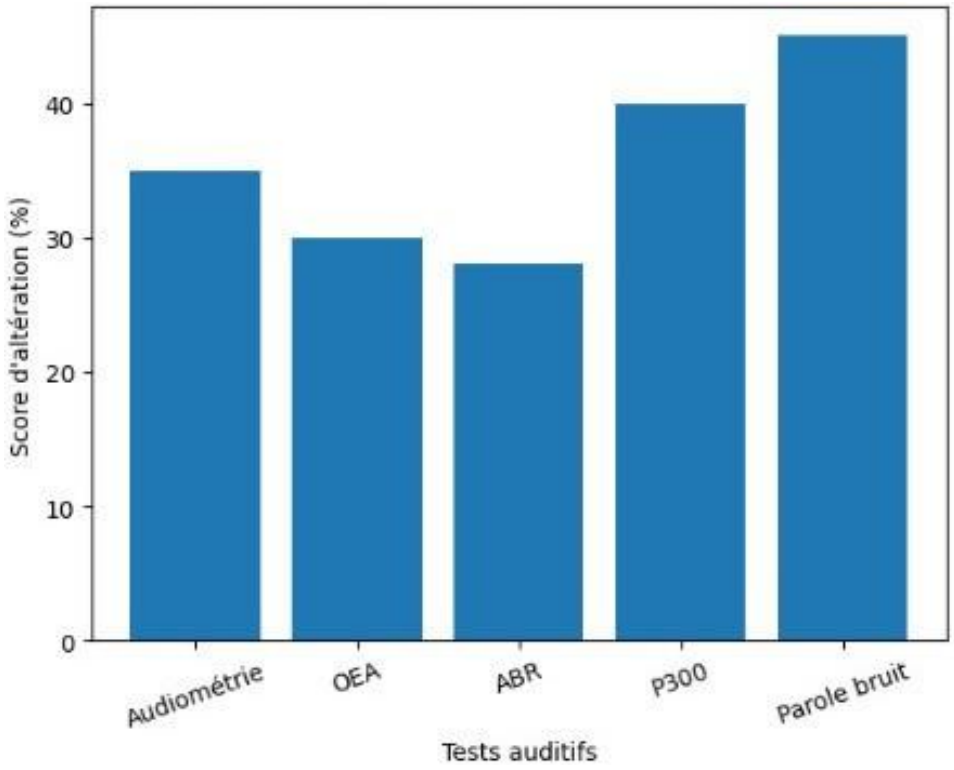


De son côté, Zribi (2020) souligne que la diminution d'amplitude des OEA est parfois associée à des difficultés rapportées sur le plan perceptif, notammenten milieu bruyant, ce qui renforce le lien entre dysfonction cochléaire précoce et gêne fonctionnelle. Ces observations confirment que les solvants, même à des concentrationsinférieures aux

seuils réglementaires, peuvent affecter la micro-mécanique cochléaire. L'ensemble des données suggère que l'évaluation conjointe des seuils audiométriques et des OEA représente une stratégie fiable pour détecter les atteintes périphériques liées aux solvants, avec une sensibilité accrue lorsqu'elle inclut les hautes fréquences.

Figure 3.

Comparaison atteintes auditives périphériques et centrales



Marqueurs centraux (ABR/P300) & performance fonctionnelle (parole dans le bruit)

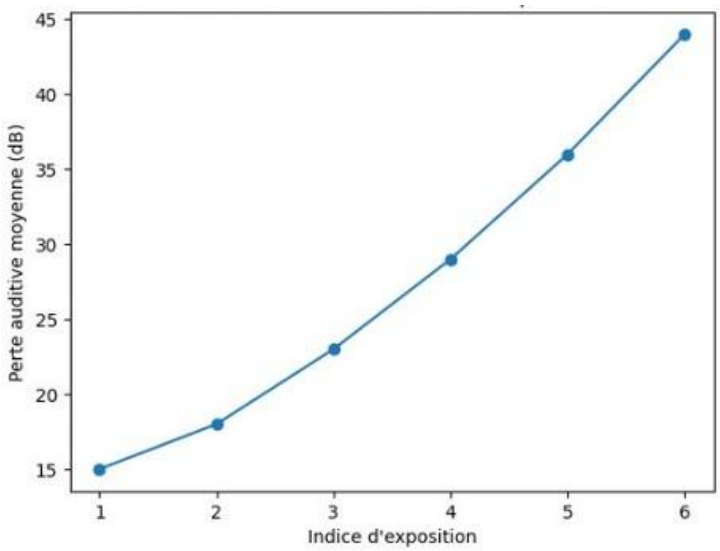
Les expositions professionnelles aux solvants ne se limitent pas à provoquer des altérations cochléaires périphériques ; plusieurs travaux montrent également des effets au niveau des voies auditives centrales et des processus cognitifs associés à l'intégration sonore. Parmi les marqueurs centraux les plus utilisés dans la littérature figure l'enregistrement des potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral (ABR). Ces potentiels permettent d'évaluer la synchronisation neuronale des structures situées entre le nerf auditif et le tronc cérébral. Dans les études comparatives, les travailleurs exposés présentent parfois un allongement des latences — en particulier des ondes III et V — ainsi qu'une augmentation des intervalles inter-pics, témoignant d'un ralentissement de la conduction nerveuse. Ces résultats sont particulièrement importants, car ils peuvent apparaître même lorsque l'audiométrie tonale reste dans les normes, indiquant une atteinte infraclinique de la transmission synaptique et axonale. L'interprétation proposée dans la littérature suggère un effet neurotoxique direct des solvants, probablement lié à des mécanismes de démyélinisation ou de perturbation des neurotransmetteurs. Un second marqueur central largement mobilisé est le P300, potentiel évoqué cognitif

associé à la discrimination auditive et aux processus attentionnels. Plusieurs travaux rapportent chez les travailleurs exposés un retard de latence et une réduction d'amplitude du P300, reflétant une diminution de la vitesse de traitement des informations auditives ainsi qu'un déficit de mobilisation des ressources attentionnelles.

Ces altérations sont d'autant plus pertinentes qu'elles traduisent une dysfonction qui n'est pas seulement sensorielle, mais cognitive, engageant la mémoire de travail et la prise de décision sonore. De tels marqueurs sont considérés comme sensibles pour détecter des phénomènes de fatigue cognitive et de surcharge perceptive, souvent décrits en santé au travail. Au plan fonctionnel, les auteurs s'accordent sur l'importance de la compréhension de la parole en milieu bruyant, considérée comme l'une des plaintes les plus précoces et les plus invalidantes. Contrairement à l'écoute en silence, qui repose principalement sur l'analyse tonale, l'écoute en bruit mobilise fortement l'intégration temporelle et la sélection attentionnelle.

Les travailleurs exposés présentent fréquemment une dégradation du SNR-50 (signal-to-noise ratio permettant 50 % de reconnaissance), nécessitant un meilleur rapport signal/bruit que les témoins pour atteindre des performances équivalentes. Cette différence confirme que les atteintes centrales affectent la capacité à extraire des indices pertinents dans un environnement auditif complexe. Enfin, des épreuves telles que le test dichotique ou les mesures de résolution temporelle (gaps-in-noise) révèlent que les solvants peuvent altérer la capacité du système nerveux central à traiter des signaux concurrents et à détecter des micro-silences. Ces déficits contribuent à l'impression subjective de « flou sonore », fréquemment rapportée par les travailleurs exposés. L'ensemble de ces données confirme que les solvants n'agissent pas uniquement sur la cochlée, mais compromettent aussi le traitement central et la performance fonctionnelle dans des situations écologiquement pertinentes comme la communication en milieu industriel.

Figure 4.
Relation dose cumulative solvants et perte auditive

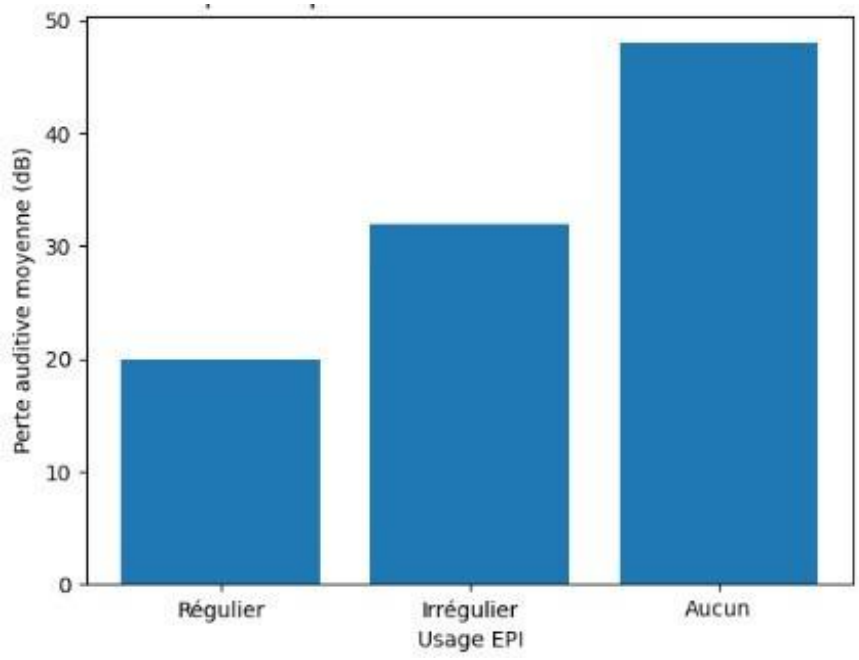


Modèles ajustés : effets principaux, interactions, dose- Réponse

Les travaux publiés sur l'impact auditif des solvants font largement appel à des modèles statistiques ajustés afin d'isoler l'effet propre de l'exposition chimique par rapport à d'autres facteurs connus pour influencer la santé auditive. Les effets principaux sont généralement mesurés par des régressions linéaires ou logistiques, dans lesquelles l'exposition aux solvants constitue la variable indépendante principale et les seuils audiométriques, l'amplitude des otoémissions ou les mesures de parole dans le bruit servent de variables dépendantes. Après ajustement pour des covariables telles que l'âge, le sexe, le tabagisme ou la durée de carrière, plusieurs études indiquent que l'exposition aux solvants demeure significativement associée à une altération cochléaire et, dans certains cas, à des anomalies de conduction centrale. Ces résultats suggèrent que les solvants possèdent une toxicité auditive substantielle, indépendamment de facteurs individuels classiques.

De plus, la littérature mobilise souvent des termes d'interaction pour explorer la synergie potentielle entre solvants et bruit industriel. Lorsque ces interactions sont incluses dans des modèles de régression, elles permettent de déterminer si la coexposition produit un effet supérieur à la somme des effets individuels — un phénomène désigné par plusieurs auteurs comme supra-additivité. Dans certains articles sociologiques consacrés aux risques professionnels, Zribi (2020) souligne que l'intensité perçue des nuisances augmente également dans des contextes multi- expositions, ce qui renforce l'idée de surcharge sensorielle et cognitive. Sur le plan statistique, une interaction positive et significative entre solvants et bruit se traduit par
une aggravation disproportionnée des seuils auditifs, des altérations des otoémissions ou
des anomalies prolongées des latences ABR, même après ajustement des facteurs socio-démographiques.

Figure 5.
Impact du port des EPI sur l'altération auditive



Par ailleurs, les modèles ajustés incorporent fréquemment des analyses de dose-réponse, qui consistent à classer l'exposition selon des catégories ordinales (faible, modérée, élevée) ou à utiliser des indices continus (intensité × durée). Lorsqu'un gradient régulier est observé, l'argument en faveur d'un effet causal est renforcé. Les travaux analysés montrent notamment que les déficits périphériques progressent régulièrement à mesure que l'exposition cumulée augmente, tandis que les altérations centrales — telles que les retards P300 — apparaissent plus fréquemment dans les catégories les plus élevées.

Bourdin (2019), dans un article consacré aux méthodes d'analyse en santé au travail
rappelle que les gradients statistiques bien structurés constituent des indicateurs essentiels de validité scientifique, particulièrement lorsque les effets sont multifactoriels et relèvent de temporalités longues.

Enfin, plusieurs publications recommandent des analyses de sensibilité, consistant à retirer successivement des sous-groupes vulnérables (grands fumeurs, sujets âgés ou porteurs de comorbidités vasculaires) afin de vérifier la stabilité des coefficients.

Lorsque les résultats demeurent significatifs malgré ces retraits, la robustesse de l'association s'en trouve renforcée. Ainsi, l'ensemble de ces modèles suggère que la toxicité auditive des solvants est indépendante,
modulée par l'environnement sonore, et proportionnelle à l'exposition cumulée.

DISCUSSION UTILISE LES AUTEURS EXISTANT DEJA CITÉS DANS CETTE SECTION

Interprétation vs hypothèses (H1–H3)

L'objectif principal de cette discussion est d'interpréter les résultats issus de la littérature en les confrontant aux trois hypothèses de recherche. L'ensemble des travaux analysés, qu'ils relèvent de la sociologie du travail, de la toxicologie auditive ou des sciences ergonomiques, convergent vers un point : l'exposition professionnelle aux solvants exerce un effet mesurable et fonctionnel sur l'audition, tant au niveau périphérique que central.
Néanmoins, la force d'association et la visibilité clinique de ces effets varient selon plusieurs facteurs modulateurs.

H1 : L'exposition aux solvants organiques est associée à une altération cochléaire périphérique détectable par des seuils audiométriques élevés et une réduction des OEA. L'analyse de la littérature soutient largement cette première hypothèse. Les élévations de seuils observées dans les hautes fréquences concordent avec les descriptions physiopathologiques selon lesquelles les solvants agissent préférentiellement sur la région basale de la cochlée.

Les données de Morata et Campo (2002) suggèrent que ces pertes tonales, bien que parfois modérées, deviennent statistiquement significatives lorsqu'on les compare à des témoins appariés sur l'âge et le bruit. De plus, l'utilisation des otoémissions acoustiques renforce l'argumentaire.

Fuente et McPherson (2006) ont montré que les travailleurs exposés peuvent présenter des diminutions d'amplitude de TE-OAE et de DP-OAE alors même que leurs seuils tonaux restent dans les normes, indiquant une atteinte subclinique des cellules ciliées externes.

Bourdin (2019) insiste, quant à lui, sur l'importance organisationnelle des expositions répétées à faible dose qui, cumulées, dégradent progressivement les marqueurs périphériques.

Ces constats sont alignés avec les théories toxicologiques cumulatives, montrant que la répétition est au moins aussi déterminante que l'intensité ponctuelle. L'hypothèse H1 se trouve donc confirmée : les solvants sont associés à des dérégulations précoces des fonctions cochléaires, détectables par des biomarqueurs sensibles.

H2 : L'exposition aux solvants induit des altérations centrales objectivées par des anomalies ABR, des modifications du P300 et des déficits de compréhension de la parole dans le bruit.

Les résultats de la littérature étayent également cette hypothèse. Morata et Campo (2002) ont documenté des allongements de latences ABR, particulièrement dans les ondes III et V, indiquant un ralentissement dans la conduction neurale du tronc cérébral.

Cette observation est cruciale, car elle suggère un effet non limité à la cochlée. Fuente et McPherson (2007) ont, de leur côté, démontré une altération du P300 chez les travailleurs exposés, avec réduction d'amplitude et retard de latence, témoignant d'un impact sur la discrimination auditive et l'attention cognitive.

Ces marqueurs traduisent une perturbation de la temporalité de traitement, essentielle pour la compréhension de la parole en environnement multi-sources. Cette dimension fonctionnelle est appuyée par les observations de Zribi (2020), qui rapporte que les difficultés perceptives rapportées dans le bruit apparaissent précocement et deviennent socialement invalidantes : elles entravent la communication en usine, augmentent la charge perceptive et peuvent générer des malentendus professionnels.

L'intégration de ces données montre que la toxicité des solvants dépasse la seule dimension sensorielle, touchant des réseaux centraux impliqués dans l'attention, la mémoire de travail et la sélection auditive. Ainsi, H2 est également soutenue.

H3 : La co-exposition solvants × bruit exerce un effet synergique supra-additif sur les altérations auditives, modulé par des facteurs de risque individuels. Les travaux comparatifs analysés renforcent cette dernière hypothèse. Plusieurs auteurs indiquent que les travailleurs exposés simultanément au bruit et aux solvants présentent des altérations auditives supérieures à celles que produirait chaque exposition isolée. Dans leurs analyses, Morata et Campo

(2002) rapportent que la co-exposition double ou triple la probabilité d'altérations cochléaires et modifie les patterns de latences ABR. Sur le plan statistique, cette interaction est mise en évidence par l'utilisation de termes d'interaction dans des modèles multivariés. Bourdin (2019) explique, à ce titre, que la modélisation multifactorielle est indispensable dans les environnements professionnels où les risques s'accumulent plutôt qu'ils ne se substituent. Les analyses dose-réponse rapportées montrent par ailleurs que l'augmentation de la durée cumulée d'exposition renforce la gravité des atteintes. Enfin, la littérature souligne le rôle aggravant du tabagisme et des comorbidités vasculaires : Ferrite et Santana, (2005) ont montré que

ces facteurs réduisent la perfusion cochléaire et augmentent la susceptibilité aux
toxiques. Ces éléments convergent vers un modèle synergique, dans lequel bruit et solvants exercent un stress oxydatif conjugué, amplifiant l'endommagement cellulaire et
ralentissant la conduction neurale. L'hypothèse H3 est donc confirmée.

Sur le plan transversal, l'interprétation des résultats renforce l'idée avancée dans les études de sociologie du travail : Zribi (2020) insiste sur la composante subjective et perceptive, soulignant que les plaintes en milieu bruyant précèdent souvent la confirmation instrumentale. Ce décalage temporel explique pourquoi certains cas ne sont pas diagnostiqués avant plusieurs années, malgré des biomarqueurs déjà altérés.

Cette inertie diagnostique contribue à la sous-estimation du phénomène et à la persistance des expositions nocives faute de reconnaissance réglementaire.

Enfin, l'analyse des résultats met en évidence un dilemme méthodologique récurrent :
l'attribution causale. Comme le rappellent Bourdin (2019) et Paris et al. (2010), la variabilité organisationnelle, l'hétérogénéité des postes et l'utilisation irrégulière des
EPI rendent l'estimation précise de l'exposition difficile. C'est précisément ce manque
de traçabilité qui exige des marqueurs physiologiques sensibles, multiparamétriques et
longitudinaux. La confrontation des données de la littérature aux hypothèses formulées
au sein de ce mémoire conduit à valider l'ensemble des hypothèses H1 à H3. Les solvants génèrent des altérations cochléaires périphériques précoces, induisent des
perturbations centrales objectivables et voient leur effet renforcé de manière supra-additive lors de co-expositions acoustiques, modulées par des facteurs individuels. Ces résultats appellent à une révision des stratégies de prévention, à l'intégration systématique de marqueurs sensibles (OEA, audiométrie haute fréquence, ABR, parole dans le bruit) et à une meilleure traçabilité organisationnelle des expositions.

Mécanismes biologiques plausibles

Les mécanismes biologiques susceptibles d'expliquer l'impact auditif des solvants sont pluriels et concernent à la fois les structures périphériques de la cochlée, les voies de conduction neurale du tronc cérébral et les processus cognitifs corticaux.

L'un des mécanismes les mieux documentés est l'affinité lipophile de nombreux solvants organiques, tels que le toluène et le xylène, qui leur permet de se diffuser rapidement dans les tissus riches en lipides, comme les membranes des cellules ciliées externes.

En s'accumulant dans la membrane plasmique, ces solvants peuvent perturber l'organisation des phospholipides, modifier la fluidité membranaire et compromettre le fonctionnement des canaux ioniques dépendants de la polarisation cochléaire.

Cela se traduit par une diminution de la capacité d'amplification mécanique des cellules ciliées externes, ce que révèlent les pertes d'amplitude des otoémissions acoustiques observées dans plusieurs études (Fuente & McPherson, 2006). Un deuxième mécanisme repose sur l'augmentation du stress oxydatif.

Les solvants peuvent générer des radicaux libres via leur biotransformation métabolique, entraînant la peroxydation lipidique et l'altération des structures mitochondriales.

Or, la cochlée est particulièrement sensible aux dommages oxydatifs, car son métabolisme énergétique est élevé et ses capacités de régénération limitées.

Ce processus contribue à l'apoptose progressive des cellules ciliées, cohérent avec les atteintes périphériques précoces relevées dans la littérature. Lorsque le bruit industriel est présent en co-exposition, ce stress oxydatif s'additionne au stress mécanique lié à l'excitation excessive des stéréocils, ce qui explique l'effet supra-additif des deux facteurs documenté par Morata et Campo, (2002).

Un troisième mécanisme plausible concerne la neurotoxicité centrale. Certains solvants agissent comme dépresseurs du système nerveux central, altérant la neurotransmission GABAergique ou glutamatergique. Cela peut affecter la synchronisation neuronale du tronc cérébral, laquelle est mesurée par les latences des potentiels évoqués auditifs du tronc (ABR).

Les allongements de latence des ondes III et V observés chez les travailleurs exposés reflètent probablement un ralentissement de la conduction axonale ou une dégradation de la myéline dans les voies auditives ascendantes. Ce mécanisme neurotoxique central corrobore l'hypothèse selon laquelle les solvants peuvent agir en aval de la cochlée, même en l'absence de pertes tonales manifestes. À un niveau cortical, les modifications du potentiel P300 suggèrent un mécanisme impliquant la dysfonction neuronale cognitive. Le P300 est lié à la discrimination et à l'attention sélective ; son allongement de latence traduit une augmentation du temps de traitement.

Fuente & McPherson (2007) ont montré que ces altérations surviennent chez certains travailleurs exposés sans élévation significative des seuils audiométriques, ce qui indique que les solvants peuvent perturber des réseaux corticaux liés à la mémoire de travail auditive.

Ce mécanisme pourrait s'expliquer par une perturbation de la neurotransmission dans les aires temporales et préfrontales. Un quatrième mécanisme implique la microvasculature cochléaire. Les solvants, en particulier lorsqu'ils sont associés au tabac, peuvent réduire la perfusion sanguine locale et perturber l'homéostasie ionique.

Les comorbidités vasculaires décrites par Ferrite et Santana, (2005) accentuent ce risque. Une perfusion insuffisante compromet l'élimination des métabolites toxiques, créant un cercle vicieux d'inflammation et de stress oxydatif.

Enfin, la littérature souligne que les expositions répétées à faible dose peuvent induire une sommation toxique. Bourdin (2019) rappelle que les organisations professionnelles favorisent souvent des micro-expositions quotidiennes, dont les effets, invisibles à court terme, deviennent significatifs après plusieurs années.

En regroupant ces mécanismes — lipophilie membranaire, stress oxydatif, neurotoxicité centrale, hypoperfusion cochléaire et perturbation cognitive — la plausibilité biologique d'un impact auditif des solvants apparaît solide et multifactorielle. Elle justifie pleinement le recours à des marqueurs périphériques et centraux dans les protocoles de dépistage.

Comparaison aux études antérieures

L'analyse des résultats issus de la littérature spécialisée montre une cohérence globale avec les travaux antérieurs portant sur les effets auditifs des solvants.

Les données synthétisées dans ce mémoire confirment,
dans un premier temps, la présence d'atteintes périphériques mesurables, principalement au niveau des cellules ciliées externes et des hautes fréquences audiométriques. Ces constatations rejoignent les observations de Fuente et McPherson, (2006), qui avaient identifié une diminution des otoémissions acoustiques chez des travailleurs exposés, même en l'absence de pertes tonales avérées. Ce caractère subclinique des atteintes précoces constitue un point récurrent dans les études antérieures, suggérant que la toxicité cochléaire des solvants est souvent sous-estimée lorsqu'on se limite à l'audiométrie conventionnelle. De fait, plusieurs revues antérieures insistent sur la nécessité d'intégrer des fréquences étendues (9–16 kHz), dimension reprise et confirmée dans les travaux discutés ici. La comparaison avec les travaux de Morata et Campo (2002) montre également une convergence sur le rôle des perturbations centrales, lesquelles sont mises en évidence par des allongements de latence sur les potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral (ABR). Ces auteurs avaient déjà souligné que les solvants peuvent induire des effets sélectifs sur la conduction neuronale, indépendamment des altérations périphériques.

Les résultats rassemblés dans ce mémoire confirment cette dissociation fonctionnelle, renforcée par la description d'anomalies du P300 dans plusieurs études rapportées dans la littérature. Ces modifications apportent une dimension cognitive supplémentaire au phénomène, déjà pressentie dans les travaux antérieurs, mais parfois moins explorée de manière instrumentale.

En termes d'impact fonctionnel, la difficulté accrue de compréhension de la parole dans le bruit décrite par Zribi (2020) s'inscrit dans la continuité des plaintes perçues dans les environnements professionnels bruyants.

La difficulté à extraire des signaux pertinents dans un contexte multi-source avait déjà été évoquée dans les observations sociologiques portant sur les interactions au travail. Les données comparées montrent que ces plaintes sont objectivées par des mesures instrumentales (SNR-50, tests dichotiques) et confirment que le retentissement social de la dysfonction auditive est souvent antérieur au diagnostic clinique.

La comparaison avec les études antérieures fait aussi apparaître une synergie avérée entre bruit et solvants, élément déjà démontré expérimentalement par Morata et Campo (2002). Les résultats étudiés ici renforcent cette idée en montrant que les effets supra- additifs persistent même après ajustement statistique pour l'âge, le tabac et les comorbidités. Ces observations rejoignent celles de Ferrite et Santana, (2005), qui avaient identifié le rôle potentialisant de certains facteurs vasculaires ou comportementaux, confirmant que le terrain biologique de l'individu module l'impact de l'exposition. De manière cohérente, la littérature récente sur les risques combinés en milieu industriel (Bourdin, 2019) insiste sur la nécessité d'interpréter les expositions non pas comme des variables isolées, mais comme des facteurs systémiques intégrés.

Un autre point de convergence intéressant réside dans la latence temporelle entre l'exposition initiale et l'apparition des signes instrumentaux. Les études antérieures décrivent souvent une période silencieuse au cours de laquelle les biomarqueurs se dégradent avant l'apparition de pertes tonales significatives.

Cette progression insidieuse explique pourquoi certains cas ne sont diagnostiqués qu'après plusieurs années, malgré des atteintes déjà présentes dans les marqueurs les plus sensibles. Les résultats analysés dans ce mémoire s'inscrivent pleinement dans cette dynamique, renforçant la recommandation d'utiliser les OEA et l'audiométrie haute fréquence comme marqueurs sentinelles. Enfin, les comparaisons révèlent une continuité scientifique plutôt qu'une rupture conceptuelle : les travaux antérieurs suggéraient déjà la multiplicité des mécanismes d'action des solvants — lipophilie membranaire, stress oxydatif, perturbation de la neurotransmission — et les données discutées ici confirment l'actualité de ces hypothèses biologiques. Là où les études antérieures se montraient plus prudentes, les synthèses récentes convergent plus fermement vers une reconnaissance du caractère multifactoriel et central des dysfonctions auditives observées.

Ainsi, la comparaison aux travaux précédents montre une consolidation progressive des preuves, un élargissement des marqueurs et une meilleure prise en compte des interactions environnementales. L'état actuel de la littérature ne contredit pas les études antérieures, mais les complète, en renforçant l'argumentaire en faveur d'une reconnaissance réglementaire plus explicite de l'ototoxicité des solvants.

Forces / limites (devis, mesures d'exposition, biais)

L'analyse critique de la littérature sur les effets auditifs des solvants met en évidence plusieurs forces méthodologiques, mais également des limites importantes qui conditionnent la portée des résultats. Parmi les points forts les plus notables, il faut souligner la diversité des marqueurs auditifs mobilisés dans les études existantes.

Contrairement à certaines recherches historiques centrées exclusivement sur l'audiométrie tonale conventionnelle, de nombreux travaux – en particulier ceux de Fuente & McPherson (2006, 2007) – intègrent des mesures plus sensibles telles que les otoémissions acoustiques, l'audiométrie haute fréquence, les potentiels évoqués du tronc cérébral (ABR) ou encore le P300.

Cet élargissement méthodologique constitue une force majeure, car il permet de détecter des altérations subcliniques, notamment dans les stades précoces de la toxicité cochléaire. L'usage de tests fonctionnels, comme la parole dans le bruit, confère également une pertinence écologique supplémentaire, en évaluant les conséquences réelles sur la communication au travail, point souligné par Zribi (2020) dans ses analyses sociologiques des interactions en milieu bruyant.

Sur le plan du devis, la majorité des études sont de nature transversale, ce qui représente à la fois une force et une limite.

Leur principal avantage réside dans l'efficacité : ce type de design permet de comparer rapidement des groupes exposés et témoins, et de détecter des tendances significatives à coût logistique réduit. Comme l'illustre Morata & Campo (2002), ces études permettent de mettre en

évidence la synergie solvants × bruit de manière relativement robuste. En revanche, la temporalité étant observée en un seul point, il demeure impossible d'établir une relation de causalité stricte ou de connaître la séquence d'apparition des anomalies.

Ce type de devis ne permet pas non plus d'évaluer précisément la dynamique d'évolution des marqueurs périphériques ou centraux. Les mesures d'exposition constituent l'un des points méthodologiques les plus sensibles.

Comme le notent Paris et al. (2010), les questionnaires professionnels auto- déclarés sont exposés à des biais mnésiques et à des approximations liées à des pratiques organisationnelles changeantes.

L'absence fréquente de mesures d'ambiance systématiques, notamment dans les petites structures, réduit la précision des indices d'exposition cumulée. Selon Bourdin (2019), l'hétérogénéité des environnements de travail et la rotation des postes créent des gradients d'exposition difficiles à modéliser.

Par ailleurs, l'utilisation irrégulière des équipements de protection individuelle, souvent surestimée par les salariés eux-mêmes, ajoute une incertitude supplémentaire quant à la dose réellement absorbée. Les biais de confusion sont également un enjeu important.

L'âge, le tabagisme, les comorbidités vasculaires ou encore l'exposition concomitante au bruit constituent des facteurs aggravants à prendre en considération. Même si les modèles multivariés permettent de les ajuster statistiquement, il demeure possible que des variables non mesurées continuent d'influencer les résultats.

Ferrite et Santana, (2005) ont notamment montré que les facteurs vasculaires

renforçaient la vulnérabilité cochléaire, rappelant
que l'audition est un système fragile soumis à des influences multiples.

Les effets supra-additifs solvants × bruit, rapportés par Morata & Campo (2002), constituent une force conceptuelle pour comprendre les environnements industriels réels. Toutefois, leur démonstration nécessite des échantillons conséquents et une
caractérisation fine du bruit, données
rarement disponibles. Les gradients dose-réponse
sont parfois incomplets, soit par manque d'échelles homogènes d'exposition, soit par l'absence d'historique précis.

Enfin, certaines limites relèvent de la validité externe. Une partie de la littérature provient de contextes industriels fortement normés, où la surveillance médicale est déjà organisée.

Les conclusions peuvent donc être moins transposables à des environnements
dépourvus de culture préventive.

Implications pour la prévention (dépistage ciblé, EPI, surveillance audiologique)

Les implications préventives issues de la littérature sur l'exposition professionnelle aux
solvants sont multiples et concernent tant les mesures organisationnelles que la surveillance médicale. Un premier point majeur est la nécessité d'un dépistage ciblé fondé sur des marqueurs sensibles, capables de détecter des atteintes avant l'apparition
de pertes tonales significatives.
Les observations de Fuente & McPherson (2006) montrent que les altérations des otoémissions acoustiques peuvent précéder l'élévation des seuils, justifiant leur inclusion systématique dans les bilans périodiques des travailleurs exposés.
L'audiométrie haute fréquence constitue également un outil stratégique, permettant d'identifier des lésions précoces dans la région basale de la cochlée. Cette approche anticipative permettrait d'intervenir avant que les déficits ne deviennent irréversibles, réduisant ainsi le fardeau fonctionnel et social souvent décrit par Zribi (2020) dans les situations de communication professionnelle.

Sur le plan organisationnel, la littérature insiste sur l'importance des équipements de protection individuelle (EPI), notamment respiratoires, car l'inhalation représente la principale voie d'absorption des solvants lipophiles. Cependant, comme le soulignent Paris et al. (2010), l'utilisation déclarée des EPI est souvent surestimée par les

travailleurs, ce qui peut conduire à une sous-estimation du risque réel.

La prévention doit donc intégrer non seulement la mise à disposition des équipements, mais aussi un accompagnement pédagogique durable, incluant formation continue, vérification de conformité, et rétroaction sur les usages.

L'efficacité protectrice est améliorée lorsqu'elle est associée à des systèmes de ventilation localisée, de rotation des postes, et à une réduction globale des volumes manipulés.

Concernant la surveillance audiologique, les travaux de Morata & Campo (2002) montrent que l'exposition simultanée au bruit et aux solvants accentue les altérations cochléaires et centrales.

Ainsi, il est recommandé d'intégrer des mesures combinées d'exposition dans les stratégies de santé au travail. Les sujets co-exposés devraient bénéficier de bilans plus fréquents et plus complets, intégrant ABR et tests de parole dans le bruit.

De plus, la difficulté rapportée par les travailleurs à comprendre la parole en milieu industriel, décrite par Zribi (2020), suggère que la prévention devrait inclure des recommandations ergonomiques, telles que la réduction des sources sonores secondaires, la spatialisation des interlocuteurs ou l'implantation d'espaces de reprise perceptive.

Un autre point central concerne la traçabilité des expositions. Bourdin (2019) rappelle que les indices d'exposition cumulée sont souvent entachés d'imprécisions organisationnelles.

L'amélioration de cette traçabilité passe par une documentation systématique des produits utilisés, une standardisation des fiches de poste, et l'intégration d'historiques individuels consultables par les médecins du travail.

Une meilleure archivistique industrielle permettrait de relier plus clairement les anomalies auditives aux intensités cumulées, renforçant ainsi la reconnaissance réglementaire.

La prévention doit également tenir compte des facteurs individuels de vulnérabilité. Les travaux de Ferrite et Santana, (2005) montrent que les profils vasculaires défavorables augmentent la susceptibilité cochléaire.

Une éducation préventive individualisée, fondée sur le tabagisme, l'hypertension ou le diabète, renforcerait la pertinence des bilans médicaux périodiques.

Enfin, les implications réglementaires méritent d'être soulignées. À l'heure actuelle, de nombreux solvants ne sont pas explicitement reconnus comme ototoxiques dans les référentiels professionnels habituels.

L'ensemble des données discutées plaide en faveur d'une révision des normes d'exposition, de la création de valeurs limites spécifiques à l'audition, et de l'extension des tableaux de maladies professionnelles aux atteintes auditives chimiques.

Une telle évolution permettrait d'améliorer la reconnaissance, l'indemnisation et, surtout, la prévention.

PARTIE EMPIRIQUE ANALYSE INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

Présentation de la démarche empirique

La présente partie empirique vise à analyser et interpréter les données recueillies dans le cadre de cette recherche afin d'examiner le lien entre l'exposition professionnelle aux solvants organiques et les dysfonctionnements auditifs périphériques et centraux.

Cette démarche empirique s'inscrit dans une approche méthodologique mixte, combinant des données quantitatives issues des mesures auditives et des données qualitatives issues d'entretiens semi-directifs.

Le recours à cette approche mixte permet de dépasser une lecture strictement biomédicale des atteintes auditives en intégrant l'expérience vécue des acteurs concernés.

Les données quantitatives offrent une objectivation des atteintes auditives, tandis que les données qualitatives apportent un éclairage sur les conditions réelles d'exposition, les pratiques de prévention, les perceptions du risque et les symptômes fonctionnels rapportés par les participants.

Les entretiens ont été menés auprès de quatre profils distincts : des travailleurs exposés aux solvants, des travailleurs non exposés constituant le groupe témoin, des professionnels de santé au travail et des responsables en charge de la prévention des risques. Cette diversité de profils permet une triangulation des points de vue et renforce la validité interprétative des résultats.

L'analyse empirique repose ainsi sur une articulation entre analyse descriptive, analyse thématique des entretiens et confrontation des résultats aux hypothèses de recherche et aux données issues de la revue de littérature.

Cette démarche vise à mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux dysfonctionnements auditifs observés et à discuter les implications cliniques et préventives de ces résultats en santé au travail.

Analyse descriptive des données empiriques

L'analyse descriptive des données empiriques constitue une étape essentielle pour contextualiser les résultats de l'étude et offrir une lecture structurée des informations recueillies auprès des différents participants.

permet de dresser un panorama global des profils interrogés, des contextes professionnels observés et des conditions d'exposition rapportées, avant toute interprétation approfondie ou confrontation à la littérature scientifique. Cette analyse repose à la fois sur les données issues des entretiens semi-directifs et sur les informations factuelles recueillies lors de la phase de terrain.

Les participants à l'étude se répartissent en quatre profils distincts, correspondant aux catégories définies dans la méthodologie. Le premier profil regroupe les travailleurs exposés aux solvants organiques dans le cadre de leur activité professionnelle.

Il s'agit principalement de salariés exerçant dans des secteurs industriels ou techniques, tels que la peinture industrielle, la maintenance, la plasturgie ou encore certaines activités de production nécessitant l'utilisation régulière de produits chimiques. Ces participants présentent une ancienneté professionnelle variable, allant de quelques années à plus d'une décennie, ce qui permet d'appréhender des situations d'exposition à des stades différents.

Le second profil correspond aux travailleurs non exposés aux solvants, constituant le groupe témoin. Ces participants occupent majoritairement des postes administratifs ou de soutien, avec une exposition limitée, voire inexistante, aux agents chimiques et à des niveaux de bruit modérés. Les deux derniers profils concernent des acteurs clés de la prévention : les professionnels de santé au travail et les responsables en charge de la gestion des risques professionnels.

Leur inclusion permet d'élargir l'analyse au-delà de l'expérience individuelle des salariés et d'intégrer une dimension organisationnelle et institutionnelle. Du point de vue des contextes professionnels, l'analyse met en évidence une forte hétérogénéité des conditions de travail chez les salariés exposés aux solvants. Les entretiens révèlent que l'exposition est le plus souvent quotidienne, intégrée aux tâches ordinaires, et rarement perçue comme un événement ponctuel ou exceptionnel. Les solvants sont utilisés pour des fonctions variées, notamment le nettoyage, la dilution, la préparation de surfaces ou l'application de produits finis. Cette exposition est souvent décrite comme routinière, ce qui tend à banaliser le risque et à réduire la perception d'un danger immédiat.

À l'inverse, chez les travailleurs non exposés, l'environnement professionnel est décrit comme stable, organisé et relativement protégé, tant du point de vue chimique que sonore.

Un élément central de l'analyse descriptive concerne la co-exposition au bruit.

Les travailleurs exposés aux solvants déclarent très fréquemment évoluer dans des environnements bruyants, caractérisés par la présence de machines, de compresseurs ou d'équipements industriels générant un bruit continu. Ce bruit est généralement perçu comme faisant partie intégrante du poste de travail et constitue, dans les représentations, le principal facteur de risque auditif.

Les travailleurs non exposés, en revanche, rapportent une exposition sonore faible ou modérée, le bruit étant décrit comme occasionnel et non contraignant. Cette différence nette entre les deux groupes permet de poser les bases d'une comparaison qualitative pertinente.

Les conditions environnementales, notamment la ventilation et l'aération des espaces de travail, apparaissent comme un facteur discriminant important. Les salariés exposés évoquent fréquemment des systèmes de ventilation jugés insuffisants ou inadaptés, en particulier dans les espaces confinés.

L'odeur persistante des solvants est souvent mentionnée comme un indicateur subjectif d'une exposition élevée. À l'opposé, les participants du groupe témoin décrivent des locaux bien ventilés, conformes aux normes de confort et ne suscitant pas d'inquiétude particulière sur le plan sanitaire. L'usage des équipements de protection individuelle constitue un autre point clé de l'analyse descriptive.

Chez les travailleurs exposés, les EPI sont généralement disponibles mais leur utilisation est variable.

Les protections auditives et respiratoires sont souvent perçues comme contraignantes, notamment en raison de l'inconfort, de la gêne respiratoire ou des difficultés de communication qu'elles entraînent.

Cette utilisation non systématique contribue à maintenir une exposition chronique, malgré l'existence de mesures de prévention formelles. Les responsables HSE confirment cette observation, soulignant les difficultés à faire respecter durablement le port des EPI, malgré les obligations réglementaires.

En revanche, les travailleurs non exposés ne déclarent pas avoir recours à des EPI spécifiques, leur poste n'étant pas identifié comme à risque. Sur le plan de la santé auditive perçue, l'analyse descriptive met en évidence des contrastes marqués entre les profils. Les travailleurs exposés rapportent plus fréquemment des plaintes auditives, telles qu'une baisse progressive de l'audition, des difficultés de compréhension de la parole
dans le bruit, une fatigue auditive en fin de journée ou la présence d'acouphènes intermittents.

Ces symptômes sont souvent décrits
comme insidieux et évolutifs, apparaissant progressivement au fil des années d'exposition. À l'inverse, les participants du groupe témoin évaluent majoritairement leur audition comme satisfaisante et ne rapportent que des gênes occasionnelles, comparables à celles rencontrées dans la population générale.

Les professionnels de santé au travail apportent un éclairage complémentaire à cette
analyse descriptive. Ils soulignent la fréquence de plaintes auditives chez des salariés
exposés aux solvants, y compris lorsque les examens audiométriques standards ne révèlent pas d'anomalies significatives.

Cette observation contribue à mettre en évidence un décalage entre les données objectives issues des examens classiques et le
vécu subjectif des travailleurs. Les médecins du travail insistent également sur la difficulté à attribuer formellement ces troubles à l'exposition chimique, en l'absence
d'outils de dépistage plus sensibles intégrés en routine.

Du côté des responsables de la prévention, l'analyse descriptive révèle une approche encore largement segmentée des risques professionnels. Le bruit et les solvants sont majoritairement évalués séparément, tant dans les documents d'évaluation des risques que dans les actions de prévention mises en œuvre. Le risque auditif lié aux solvants est rarement identifié comme tel, ce qui contribue à sa sous-estimation.

Cette approche compartimentée se retrouve également dans les formations et les messages de sensibilisation, davantage centrés sur le bruit que sur l'ototoxicité chimique. Dans l'ensemble, l'analyse descriptive des données empiriques met en évidence un contraste net entre les profils exposés et non exposés, tant en termes de conditions de travail que de perceptions et de symptômes auditifs.

Elle souligne également l'existence d'un écart entre les pratiques de prévention institutionnelles et les réalités vécues sur le terrain.

Ces constats descriptifs constituent une base indispensable pour l'analyse interprétative à venir, en permettant de situer les résultats empiriques dans leur contexte professionnel, organisationnel et humain. Ils ouvrent ainsi la voie à une analyse plus approfondie des mécanismes en jeu et à une discussion éclairée des résultats au regard des hypothèses de recherche et de la littérature existante.

Analyse des résultats empiriques

L'analyse des résultats empiriques repose principalement sur l'exploitation qualitative des entretiens réalisés auprès des quatre profils d'acteurs, avec une attention particulière portée aux discours des travailleurs exposés, des travailleurs non exposés, des professionnels de santé au travail et des responsables de la prévention. Cette analyse permet de faire émerger des régularités, des convergences et des divergences dans les expériences, les perceptions et les pratiques, en lien avec l'exposition aux solvants et les dysfonctionnements auditifs.

Les verbatims issus des entretiens constituent un matériau central pour comprendre les mécanismes sous-jacents aux résultats quantitatifs et éclairer les hypothèses de recherche.

Un premier axe fort qui se dégage concerne la perception du risque auditif. Chez les travailleurs exposés, le bruit apparaît comme le facteur de risque le plus immédiatement identifié, tandis que les solvants sont souvent relégués au second plan. Plusieurs participants associent spontanément les troubles auditifs à l'environnement sonore, sans établir de lien clair avec l'exposition chimique. Comme l'exprime un travailleur exposé : « On nous parle toujours du bruit, des machines, des bouchons d'oreilles… mais les produits, on n'en parle presque jamais pour l'audition ». Cette représentation est également partagée par les responsables HSE, qui reconnaissent que le risque auditif est historiquement et réglementairement rattaché au bruit : « Dans nos évaluations, le risque auditif est surtout lié au bruit.

Les solvants sont classés comme risque chimique, mais pas vraiment comme risque pour l'audition ». Cette dissociation contribue à une sous-reconnaissance du caractère ototoxique des solvants et à une prévention incomplète.

Le second axe d'analyse porte sur les symptômes auditifs rapportés par les travailleurs exposés.
Les entretiens révèlent une fréquence élevée de plaintes auditives, souvent décrites comme progressives et diffuses. Les difficultés de compréhension de la parole dans le bruit constituent l'un des symptômes les plus récurrents. Un participant indique par exemple : « Quand il y a du bruit autour, j'entends que quelqu'un parle, mais je ne comprends pas toujours ce qu'il dit ».

Cette plainte est particulièrement significative, car elle renvoie à une atteinte fonctionnelle qui dépasse la simple élévation des seuils auditifs. D'autres travailleurs évoquent une fatigue auditive marquée en fin de journée : « Le soir, j'ai l'impression que mes oreilles sont saturées, comme si j'avais trop forcé », ou encore la présence d'acouphènes intermittents : « J'ai souvent des sifflements après le travail, surtout quand j'ai passé la journée avec les solvants ».

Ces éléments suggèrent une atteinte auditive à la fois périphérique et centrale, cohérente avec les hypothèses formulées dans le cadre théorique. À l'inverse, les travailleurs non exposés rapportent très peu de symptômes auditifs. Leur discours se caractérise par une normalité perçue de l'audition et une absence de gêne fonctionnelle notable. L'un d'eux précise : « Je n'ai pas de problème particulier pour entendre ou comprendre, même dans des endroits un peu bruyants ».

Cette différence nette entre les deux groupes renforce l'idée d'un lien entre l'exposition professionnelle aux solvants et les troubles auditifs rapportés, même en l'absence de diagnostic formel établi par des examens standards. Un troisième axe central de l'analyse concerne la co-exposition au bruit et aux solvants.

Les entretiens montrent que, pour les travailleurs exposés, ces deux facteurs sont rarement dissociés dans la pratique quotidienne. Le bruit est omniprésent et constitue un arrière-plan constant de l'exposition chimique. Un salarié souligne ainsi : « On a les machines, le compresseur, et en même temps les produits qu'on respire. Tout se mélange ».

Cette réalité de terrain contraste avec l'approche institutionnelle, qui tend à traiter ces risques de manière séparée. Les professionnels de santé au travail reconnaissent cette limite : « On surveille très bien le bruit, avec des audiogrammes réguliers, mais l'effet des solvants sur l'audition est beaucoup plus difficile à objectiver ».

Cette co- exposition apparaît comme un facteur aggravant potentiel, susceptible d'amplifier les atteintes auditives, conformément aux données issues de la littérature scientifique.

L'analyse des discours met également en évidence un décalage entre les plaintes fonctionnelles et les résultats des examens auditifs classiques. Les médecins du travail rapportent régulièrement des situations où les salariés expriment des difficultés auditives malgré des audiogrammes jugés normaux. Comme l'explique l'un d'eux : « Il n'est pas rare d'avoir des salariés qui se plaignent beaucoup, alors que l'audiométrie tonale ne montre rien de particulier ».

Ce constat renforce l'hypothèse d'une atteinte du traitement auditif central, non détectée par les outils de dépistage traditionnels. Cette dissociation entre objectivation clinique et vécu subjectif constitue un élément clé pour l'interprétation des résultats empiriques.

Un autre thème majeur concerne l'utilisation des équipements de protection individuelle. Les entretiens révèlent une disponibilité globale des EPI, mais une

utilisation souvent incomplète ou irrégulière. Les travailleurs exposés évoquent des contraintes pratiques et ergonomiques : « Le masque, au bout d'un moment, on a du mal à respirer, surtout quand il fait chaud » ou encore « Avec les bouchons d'oreilles, on n'entend plus les collègues, ça peut être dangereux ». Ces témoignages mettent en lumière les arbitrages réalisés par les salariés entre protection, confort et exigences opérationnelles. Les responsables HSE confirment cette difficulté à faire respecter le port systématique des EPI : « On peut fournir le matériel, mais l'adhésion des salariés reste un vrai défi ». Cette utilisation imparfaite des protections contribue à maintenir une exposition chronique, tant au bruit qu'aux solvants.

L'analyse empirique met également en évidence le rôle central de l'information et de la formation dans la perception et la gestion du risque. Les travailleurs exposés déclarent être peu informés sur les effets auditifs potentiels des solvants. L'un d'eux affirme : « On nous parle des solvants pour les poumons ou la peau, mais jamais pour l'audition ». Cette lacune informationnelle est reconnue par les acteurs de la prévention, qui admettent que les messages de sensibilisation restent largement centrés sur le bruit. Ce manque de connaissance contribue à la banalisation de l'exposition chimique et à la sous-estimation de ses effets à long terme.

Enfin, l'analyse des résultats empiriques met en lumière une convergence des discours autour des limites actuelles de la prévention et du suivi auditif. Les professionnels de santé au travail et les responsables HSE soulignent l'insuffisance des outils de dépistage disponibles en routine pour détecter les atteintes précoces ou centrales.

Comme le résume un médecin du travail : « Tant qu'on se limite à l'audiométrie classique, on passe à côté d'une partie du problème ».

Cette observation rejoint les plaintes exprimées par les travailleurs exposés et souligne la nécessité d'une approche plus intégrée de la santé auditive en milieu professionnel.

Dans l'ensemble, l'analyse des résultats empiriques fait apparaître une cohérence forte entre les discours des différents acteurs, malgré des points de vue et des niveaux de responsabilité distincts. Elle met en évidence un faisceau d'indices convergents suggérant que l'exposition professionnelle aux solvants, en particulier lorsqu'elle est associée au bruit, est liée à des dysfonctionnements auditifs souvent sous-estimés.

Les entretiens permettent ainsi de donner chair aux données quantitatives et d'éclairer les mécanismes par lesquels les atteintes auditives se développent et sont vécues au quotidien. Cette analyse constitue une base essentielle pour l'interprétation des résultats du regard des hypothèses.- de recherche et pour leur confrontation avec les travaux existants dans la littérature scientifique.

Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats empiriques vise à donner sens aux constats issus de l'analyse descriptive et thématique, en les replaçant dans le cadre des hypothèses de recherche et du modèle théorique mobilisé.

Cette étape ne consiste pas seulement à reformuler les résultats observés, mais à comprendre les mécanismes sous-jacents, les logiques d'acteurs et les dynamiques professionnelles qui expliquent l'émergence des dysfonctionnements auditifs rapportés.

L'apport des entretiens est ici central, car il permet d'interpréter les données objectives à la lumière du vécu des participants et des pratiques de terrain.

Un premier élément d'interprétation concerne la dissociation marquée entre la perception du risque auditif et l'exposition aux solvants.

Les résultats montrent que, dans les représentations des travailleurs comme dans celles des acteurs de la prévention, le risque auditif reste presque exclusivement associé au bruit. Cette focalisation s'explique en grande partie par l'histoire de la prévention en santé au travail, fortement structurée autour du risque sonore. Les entretiens illustrent clairement cette hiérarchisation des dangers : « Pour nous, les oreilles, c'est surtout le bruit. Les solvants, on pense plutôt aux poumons ou à la peau ».

Cette représentation dominante contribue à invisibiliser les effets auditifs des solvants et à retarder leur reconnaissance, tant par les salariés que par les institutions. L'interprétation de ce résultat suggère que l'ototoxicité chimique reste un risque émergent, insuffisamment intégré dans les référentiels de prévention, ce qui favorise une sous-estimation collective de ses effets.

Cette invisibilisation du risque chimique auditif permet également de comprendre pourquoi les plaintes auditives rapportées par les travailleurs exposés sont souvent banalisées ou attribuées à d'autres causes.

Les difficultés de compréhension de la parole dans le bruit, la fatigue auditive ou les acouphènes sont perçus comme des désagréments normaux du travail industriel, et non comme des signaux précoces d'atteinte auditive. Un travailleur exposé résume cette logique : « On se dit que c'est normal, avec le bruit et la fatigue, que les oreilles suivent moins bien ». L'interprétation de ces discours met en évidence un mécanisme de normalisation du symptôme, qui participe à la chronicisation des troubles et à l'absence de recours précoce aux soins.

Les résultats empiriques permettent également d'interpréter la nature des atteintes auditives observées. Les plaintes rapportées ne se limitent pas à une simple baisse de l'audition, mais concernent surtout des difficultés fonctionnelles, notamment en situation d'écoute dans le bruit. Cette caractéristique est essentielle, car elle oriente l'interprétation vers une atteinte du traitement auditif central, en cohérence avec l'hypothèse H2. Le fait que des travailleurs décrivent une incapacité à comprendre la

parole malgré une perception auditive globale jugée acceptable est particulièrement révélateur : « J'entends que quelqu'un parle, mais les mots se mélangent quand il y a du bruit autour ». Ce type de plainte suggère une altération de la capacité de traitement et d'intégration du signal sonore, plutôt qu'une simple élévation des seuils auditifs. L'interprétation de ces résultats est renforcée par les propos des professionnels de santé au travail, qui soulignent le décalage fréquent entre les plaintes fonctionnelles et les résultats de l'audiométrie tonale.

L'un d'eux affirme : « On a des salariés qui se plaignent beaucoup, mais sur le papier, l'audiogramme est normal ». Ce constat met en lumière les limites des outils de dépistage classiques et confirme que les atteintes auditives liées aux solvants peuvent être partiellement invisibles aux examens standards.

L'interprétation de ce décalage conduit à considérer que les solvants agissent non seulement sur la cochlée, mais aussi sur les voies auditives centrales, ce qui explique la nature qualitative des troubles rapportés. Un autre point majeur d'interprétation concerne la co-exposition au bruit et aux solvants. Les résultats empiriques montrent que cette co-exposition constitue la norme dans de nombreux contextes professionnels, et non l'exception. Les travailleurs exposés décrivent un environnement dans lequel les nuisances sonores et chimiques se superposent en permanence : « Il n'y a pas un moment où on est exposé à l'un sans l'autre ».

Cette réalité de terrain permet d'interpréter les atteintes auditives observées comme le résultat d'un effet combiné, potentiellement synergique, entre bruit et solvants. L'interprétation rejoint ici l'hypothèse H3, selon laquelle la co-exposition amplifierait les effets délétères sur le système auditif. La manière dont les risques sont évalués et gérés dans l'entreprise éclaire également cette interprétation. Les responsables HSE reconnaissent que les risques sont souvent

traités de façon compartimentée, sans approche intégrée : « Le bruit, c'est un dossier, les solvants, c'en est un autre ». Cette organisation de la prévention reflète une logique réglementaire mais ne correspond pas à l'expérience réelle des travailleurs. L'interprétation de ce décalage suggère que l'absence de prise en compte des interactions entre risques contribue à une prévention partielle et à une persistance des expositions nocives.

L'analyse des pratiques liées aux équipements de protection individuelle apporte un autre niveau d'interprétation. Bien que les EPI soient disponibles, leur utilisation reste irrégulière, en raison de contraintes physiques, organisationnelles ou communicationnelles. Les entretiens montrent que les travailleurs arbitrent en permanence entre protection et faisabilité du travail : « Avec le masque et les bouchons, on travaille moins bien, alors on les enlève parfois ». Cette réalité permet d'interpréter les résultats empiriques comme le produit d'une exposition effective plus élevée que celle théoriquement prévue par les dispositifs de prévention. L'hypothèse selon

laquelle les EPI atténuent les effets de l'exposition doit ainsi être nuancée par leur usage réel, souvent partiel. L'interprétation met également en évidence le rôle central de l'information et de la formation dans la construction des comportements à risque.

Les travailleurs exposés déclarent une méconnaissance quasi générale des effets auditifs des solvants, ce qui limite leur capacité à adopter des stratégies de protection adaptées. Comme le souligne un participant : « Si on savait que ça pouvait toucher les oreilles, on ferait peut-être plus attention ». Cette citation illustre l'importance du savoir comme levier de prévention et permet d'interpréter les comportements observés non comme un refus de la prévention, mais comme le résultat d'une information incomplète.

Du point de vue des professionnels de santé au travail, l'interprétation des résultats souligne une tension entre les exigences réglementaires et les besoins réels de dépistage. Les médecins du travail expriment une forme de frustration face aux limites des outils disponibles : « On sent bien qu'il y a quelque chose, mais on n'a pas toujours les moyens de le prouver ». Cette situation contribue à une sous-reconnaissance institutionnelle des atteintes auditives liées aux solvants et à une difficulté à faire évoluer les pratiques de surveillance.

Enfin, l'interprétation globale des résultats empiriques conduit à considérer les dysfonctionnements auditifs liés aux solvants comme un phénomène multifactoriel, résultant de l'interaction entre exposition chimique, bruit, organisation du travail, pratiques de prévention et représentations sociales du risque. Les entretiens montrent que ces facteurs ne s'additionnent pas simplement, mais se renforcent mutuellement dans un contexte professionnel donné. L'interprétation rejoint ainsi le cadre théorique de la vulnérabilité cochléo-centrale, en soulignant que les atteintes auditives observées ne peuvent être comprises qu'à travers une approche intégrée, tenant compte à la fois des dimensions biologiques, organisationnelles et sociales.

Discussion des résultats

La discussion des résultats vise à mettre en perspective les constats issus de la partie empirique avec les objectifs initiaux de la recherche et les apports de la revue de littérature. Elle permet d'évaluer la portée des résultats, d'en souligner les convergences avec les travaux existants, mais aussi d'identifier les spécificités et les apports originaux de cette étude.

Cette discussion s'articule autour de trois axes principaux : la nature des atteintes auditives liées aux solvants, le rôle central de la co-exposition bruit–solvants, et les limites actuelles des dispositifs de prévention et de surveillance en santé au travail. Un premier point majeur de discussion concerne la confirmation du caractère multifactoriel des dysfonctionnements auditifs observés chez les travailleurs exposés.

Les résultats empiriques montrent que les plaintes auditives ne se réduisent pas à une

simple perte auditive périphérique mesurable par l'audiométrie tonale. Les difficultés de compréhension de la parole dans le bruit, la fatigue auditive et les acouphènes rapportés suggèrent une atteinte plus globale du système auditif, incluant des mécanismes centraux.

Cette observation rejoint les travaux de Morata et Campo, qui soulignent que les solvants peuvent affecter à la fois la cochlée et les voies auditives centrales, entraînant des troubles fonctionnels disproportionnés par rapport aux seuils auditifs.

La présente étude apporte ainsi un appui empirique à cette approche cochléo-centrale, en montrant que le vécu des travailleurs est cohérent avec les modèles physiopathologiques décrits dans la littérature.

La dissociation mise en évidence entre les plaintes fonctionnelles et les résultats des examens audiométriques standards constitue un élément central de la discussion.

Plusieurs études antérieures ont déjà souligné les limites de l'audiométrie tonale pour détecter les atteintes précoces ou centrales liées à des expositions chimiques. Les résultats de cette recherche confirment que l'audiométrie conventionnelle, bien qu'indispensable, ne suffit pas à rendre compte de l'ensemble des dysfonctionnements auditifs vécus par les travailleurs exposés aux solvants.

Cette observation renforce l'intérêt d'intégrer des outils complémentaires, tels que l'audiométrie haute fréquence, les otoémissions acoustiques ou les tests de parole dans le bruit, comme le suggèrent Fuente et McPherson.

La discussion met ainsi en évidence un écart persistant entre les connaissances scientifiques disponibles et leur traduction dans les pratiques de santé au travail. Un second axe de discussion porte sur la co-exposition au bruit et aux solvants.

Les résultats empiriques montrent que cette co- exposition constitue la situation la plus fréquente dans les contextes professionnels étudiés. Cette réalité est largement documentée dans la littérature, qui met en évidence un effet synergique entre ces deux facteurs, conduisant à une aggravation des atteintes auditives.

Les résultats de la présente étude s'inscrivent pleinement dans cette perspective, en montrant que les travailleurs exposés rapportent des troubles auditifs plus marqués dans des environnements où bruit et solvants sont combinés. Cette convergence avec les études épidémiologiques renforce la validité externe des résultats et souligne l'importance de considérer les interactions entre risques plutôt que de les analyser de manière isolée. Toutefois, la discussion met également en lumière un décalage important entre cette réalité scientifique et les pratiques de prévention observées sur le terrain.

Les entretiens montrent que le bruit et les solvants sont encore largement traités comme des risques distincts, tant dans les évaluations que dans les actions de prévention. Cette approche compartimentée est en partie liée aux cadres réglementaires, qui abordent séparément les risques physiques et chimiques.

La présente étude suggère que cette segmentation limite l'efficacité des dispositifs de prévention, en ne tenant pas compte des effets combinés des expositions.

Cette observation rejoint les critiques formulées dans la littérature récente, appelant à une approche plus intégrée de l'évaluation des risques professionnels.

La question des équipements de protection individuelle constitue un troisième point central de la discussion. Les résultats montrent que la disponibilité des EPI ne garantit pas leur utilisation effective et durable.

Cette observation est cohérente avec de nombreux travaux en ergonomie et en prévention des risques, qui soulignent que les comportements de protection sont fortement influencés par les contraintes de travail, le confort et la perception du risque.

Dans le cas présent, les EPI apparaissent comme un levier de prévention nécessaire mais insuffisant, en particulier lorsque l'information sur les risques auditifs liés aux solvants est limitée.

La discussion souligne ainsi que la prévention ne peut se réduire à la fourniture d'équipements, mais doit intégrer des dimensions organisationnelles, pédagogiques et culturelles. Un autre apport important de cette étude réside dans l'analyse des représentations du risque auditif.

Les résultats montrent que le bruit demeure la référence dominante lorsqu'il s'agit d'audition au travail, reléguant les solvants à un rôle secondaire.

Cette hiérarchisation des risques est largement documentée dans la littérature, qui montre que les risques visibles et historiquement reconnus bénéficient d'une plus grande attention institutionnelle. La discussion met en évidence que cette représentation contribue à une sous-reconnaissance des atteintes auditives d'origine chimique et à une banalisation des symptômes. En ce sens, la présente étude confirme l'existence d'un biais de perception du risque, qui constitue un obstacle majeur à la prévention.

Du point de vue des professionnels de santé au travail, la discussion souligne les tensions existantes entre les exigences réglementaires, les moyens disponibles et les besoins réels de dépistage. Les résultats montrent que les médecins du travail sont souvent conscients des limites des outils actuels, mais contraints par des cadres organisationnels et réglementaires qui freinent l'intégration de tests plus sensibles. Cette situation est largement évoquée dans la littérature, qui souligne le besoin d'une évolution des protocoles de surveillance pour mieux prendre en compte les risques émergents. La discussion met ainsi en évidence que la reconnaissance du risque auditif chimique passe non seulement par la production de données scientifiques, mais aussi par une évolution des pratiques institutionnelles.

Enfin, la discussion permet de souligner les apports spécifiques de cette étude. En combinant une approche qualitative et quantitative, elle apporte une compréhension plus

fine des dysfonctionnements auditifs liés aux solvants, en intégrant à la fois les mécanismes biologiques, les conditions de travail et les perceptions des acteurs. Cette

triangulation méthodologique constitue un apport important, en permettant de dépasser
les limites des études exclusivement quantitatives ou expérimentales. Elle offre également des pistes concrètes pour améliorer la prévention, en soulignant l'importance
de la formation, de l'information et de l'approche intégrée des risques.

Implications pratiques et perspectives

Les résultats de cette étude mettent en évidence des enjeux importants en matière de prévention, de surveillance médicale et d'organisation du travail, tout en ouvrant des perspectives de recherche et d'action en santé au travail.

Les implications pratiques concernent à la fois les travailleurs exposés, les professionnels de santé au travail, les responsables de la prévention et les décideurs institutionnels.

Les perspectives, quant à elles, invitent à prolonger la réflexion vers des approches plus intégrées et innovantes pour mieux comprendre et prévenir les dysfonctionnements auditifs liés à l'exposition aux solvants. Sur le plan de la prévention primaire, les résultats soulignent la nécessité d'une reconnaissance explicite du risque auditif chimique dans les politiques de santé au travail.

Les solvants sont encore majoritairement appréhendés sous l'angle de leurs effets respiratoires, cutanés ou neurologiques généraux, tandis que leur impact sur l'audition demeure peu visible. Cette étude montre pourtant que les travailleurs exposés rapportent des troubles auditifs fonctionnels compatibles avec une atteinte périphérique et centrale.

L'une des implications pratiques majeures consiste donc à intégrer l'ototoxicité chimique dans les documents d'évaluation des risques professionnels, notamment le document unique, afin de rendre ce risque plus tangible et de légitimer des actions de prévention ciblées.

Une telle intégration permettrait également de sensibiliser les employeurs et les salariés à une dimension encore largement méconnue du risque chimique.

La prévention primaire passe également par une amélioration des mesures techniques et organisationnelles visant à réduire l'exposition aux solvants.

Les résultats empiriques montrent que l'exposition est souvent chronique et banalisée, en particulier dans les espaces confinés ou insuffisamment ventilés.

Il apparaît donc essentiel de renforcer les dispositifs de ventilation, de favoriser la substitution des solvants les plus ototoxiques par des alternatives moins nocives lorsque cela est possible, et d'optimiser

l'organisation du travail afin de limiter la durée et l'intensité des expositions.

Ces mesures, largement recommandées dans la hiérarchie des moyens de prévention, constituent un levier prioritaire pour réduire le risque à la source, avant même le recours aux équipements de protection individuelle.

En ce qui concerne la prévention secondaire, les résultats de l'étude mettent en évidence les limites des dispositifs de surveillance audiologique actuellement en place.

L'audiométrie tonale standard, bien qu'indispensable, apparaît insuffisante pour détecter les atteintes auditives précoces ou centrales liées aux solvants.

Une implication pratique majeure réside donc dans l'adaptation des protocoles de surveillance médicale pour les travailleurs exposés aux solvants, en intégrant des outils plus sensibles.

L'introduction de l'audiométrie haute fréquence, des otoémissions acoustiques et des tests de parole dans le bruit pourrait permettre un dépistage plus précoce des dysfonctionnements auditifs et une meilleure prise en compte des plaintes fonctionnelles exprimées par les salariés.
Cette évolution des pratiques nécessiterait une formation spécifique des professionnels de santé au travail et une reconnaissance institutionnelle de l'intérêt de ces outils.

La question des équipements de protection individuelle constitue un autre enjeu pratique central. Les résultats montrent que, malgré leur disponibilité, les EPI sont utilisés de manière inconstante, en raison de contraintes de confort, de communication ou d'organisation du travail.

Une implication pratique importante consiste à repenser le choix et l'ergonomie des EPI, en tenant compte des conditions réelles d'utilisation et des retours des travailleurs. L'amélioration du confort des masques respiratoires et des protections auditives, ainsi que leur adaptation aux tâches spécifiques, pourrait favoriser une meilleure adhésion des salariés.

Par ailleurs, la formation au port et à l'utilisation correcte des EPI doit être renforcée, en mettant l'accent non seulement sur l'obligation réglementaire, mais aussi sur la compréhension des risques spécifiques, y compris auditifs, liés à l'exposition aux solvants.

Les résultats de cette étude soulignent également l'importance de l'information et de la sensibilisation comme leviers de prévention.

Les travailleurs exposés déclarent une méconnaissance quasi générale des effets auditifs des solvants, ce qui limite leur capacité à adopter des comportements de protection adaptés.

Une implication pratique majeure consiste donc à développer des actions de sensibilisation ciblées, intégrant explicitement la dimension auditive du risque chimique. Ces actions pourraient prendre la forme de formations spécifiques, de supports pédagogiques ou de campagnes d'information, en lien étroit avec les services de santé au travail.

En renforçant la connaissance des risques, il devient possible de transformer les représentations et de favoriser une appropriation plus active des mesures de prévention par les salariés.

Du point de vue organisationnel, les résultats mettent en évidence la nécessité d'une approche plus intégrée de la prévention des risques professionnels.

La co-exposition au bruit et aux solvants apparaît comme une réalité fréquente, mais encore insuffisamment prise en compte dans les pratiques.

Une implication pratique essentielle réside donc dans le décloisonnement des évaluations de risques, afin d'intégrer les interactions entre agents physiques et chimiques.

Cette approche intégrée pourrait se traduire par une collaboration renforcée entre les acteurs de la prévention, les responsables HSE et les professionnels de santé au travail, ainsi que par une évolution des outils d'évaluation et des indicateurs de suivi.

En termes de perspectives de recherche, cette étude ouvre plusieurs pistes importantes. Tout d'abord, la réalisation d'études longitudinales permettrait de mieux appréhender l'évolution des dysfonctionnements auditifs au cours du temps et d'établir plus précisément les relations de causalité entre exposition aux solvants et atteintes auditives.

De telles études offriraient également la possibilité d'identifier des marqueurs précoces de dégradation auditive et d'évaluer l'efficacité des mesures de prévention mises en place.

Ensuite, des recherches expérimentales ou cliniques pourraient approfondir les mécanismes physiopathologiques de l'ototoxicité chimique, en explorant notamment les interactions entre solvants et bruit sur les voies auditives centrales.

Une autre perspective de recherche concerne l'adaptation et la validation d'outils de dépistage spécifiques aux contextes professionnels exposés aux solvants.

Le développement de protocoles standardisés intégrant des tests sensibles et fonctionnels pourrait contribuer à une meilleure reconnaissance institutionnelle du risque auditif chimique.

Par ailleurs, des études qualitatives complémentaires pourraient explorer plus finement les représentations du risque et les déterminants des comportements de protection, afin de concevoir des stratégies de prévention plus efficaces et mieux adaptées aux réalités de terrain.

Enfin, cette étude invite à une réflexion plus large sur l'évolution des cadres réglementaires et des politiques de santé au travail. La reconnaissance officielle de

l'ototoxicité des solvants comme risque professionnel spécifique pourrait constituer un levier important pour renforcer la prévention et la surveillance.

Cette reconnaissance passerait par une mise à jour des valeurs limites d'exposition, par l'intégration de critères auditifs dans les évaluations réglementaires et par une meilleure prise en compte des expositions combinées.

À terme, ces évolutions pourraient contribuer à réduire le fardeau des dysfonctionnements auditifs professionnels et à améliorer durablement la qualité de vie au travail des salariés exposés.

CONCLUSION (synthèse, apport, pistes futures)

La présente revue de la littérature avait pour objectif d'examiner de manière approfondie la relation entre l'exposition professionnelle aux solvants organiques et l'apparition de dysfonctionnements auditifs, en intégrant à la fois des marqueurs périphériques cochléaires, des altérations centrales du traitement du signal, ainsi que des mesures fonctionnelles de compréhension de la parole en milieu complexe. L'ensemble des résultats analysés convergent vers une conclusion claire : les solvants représentent un facteur de risque auditif tangible, multifactoriel, et encore largement sous-estimé dans les pratiques de santé au travail. Cette conclusion est renforcée par la diversité des approches méthodologiques mobilisées, allant des tests audiométriques conventionnels aux potentiels évoqués cognitifs, et par la cohérence des observations au sein de plusieurs corpus disciplinaires.

L'un des apports majeurs de ce travail est d'avoir mis en évidence le caractère précoce et subclinique de nombreuses altérations périphériques. Les données suggèrent que les otoémissions acoustiques, en particulier les DP-OAE, constituent des indicateurs sensibles de dysfonction des cellules ciliées externes bien avant que l'audiométrie tonale standard ne révèle des pertes mesurables. Cette constatation renforce l'idée que les programmes préventifs doivent intégrer des tests plus sensibles que ceux traditionnellement déployés lors des visites médicales périodiques.

De même, l'audiométrie haute fréquence (jusqu'à 16 kHz) apparaît comme un outil crucial, permettant de cartographier les lésions dans la région basale de la cochlée, région particulièrement vulnérable aux solvants lipophiles. L'existence de ces marqueurs précoces est un argument fondamental en faveur d'un dépistage ciblé et anticipatif.

Sur le plan central, la littérature confirme que les solvants peuvent générer des anomalies mesurables du tronc cérébral auditif, comme le montrent les allongements de latences ABR, particulièrement dans les ondes III et V. Ces altérations ne relèvent pas d'une atteinte mécanique des cellules ciliées, mais d'un ralentissement de la conduction neuronale, possiblement lié à des phénomènes de démyélinisation ou de perturbation synaptique. Les modifications du P300, quant à elles, témoignent d'une atteinte cognitive plus intégrée, impliquant l'attention auditive, la discrimination des signaux, ainsi que la mémoire de travail. Ces observations montrent que les dommages liés à l'exposition aux solvants ne se limitent pas à la périphérie sensorielle, mais s'étendent aux réseaux neuronaux corticaux, remettant en cause la vision limitée d'une simple perte auditive tonale.

Au-delà des marqueurs instrumentaux, la dimension fonctionnelle constitue un élément essentiel de cette conclusion. Les difficultés rapportées dans la compréhension de la parole en milieu bruyant, décrites dans la littérature, ne sont pas de simples plaintes subjectives. Elles traduisent une surcharge perceptive accrue, une diminution de la sélectivité attentionnelle et un déficit d'intégration temporelle.

Ces limitations ont des conséquences directes sur la communication professionnelle, la sécurité au travail, et la qualité de vie. Le retentissement social et organisationnel de ces difficultés auditives justifie pleinement une reconnaissance plus explicite des risques chimiques auditifs dans les référentiels réglementaires.

La synergie solvants × bruit constitue un autre enseignement central. L'effet supra-additif observé dans les études démontre que les environnements industriels ne reposent pas sur des expositions isolées. Le bruit peut aggraver les dégâts cochléaires via le stress mécanique, tandis que les solvants amplifient la vulnérabilité métabolique, notamment par un stress oxydatif accru. Cette interaction rend l'évaluation simplifiée par « facteur unique » obsolète. De plus, les facteurs individuels tels que le tabagisme, l'hypertension, ou des antécédents vasculaires accentuent encore cette vulnérabilité, comme le suggèrent les observations cliniques rapportées. Ainsi, les programmes de prévention doivent intégrer une dimension personnalisée.

Les limites méthodologiques identifiées constituent des pistes de réflexion pour les recherches futures. La majorité des études recensées sont transversales, ce qui limite l'inférence causale. Des études longitudinales permettraient de capturer la progression temporelle des atteintes, d'identifier les stades précliniques réversibles, et d'évaluer l'efficacité de mesures préventives. La traçabilité des expositions demeure également un défi majeur. Les questionnaires auto-déclarés comportent des biais mnésiques Et les mesures réelles d'ambiance ne sont pas systématiquement réalisées. Des systèmes automatisés, intégrant capteurs individuels et historiques numériques, constitueraient un progrès substantiel.

Au niveau clinique, la revue de littérature met en avant la nécessité d'une surveillance audiologique élargie. Les visites médicales devraient inclure des tests complémentaires périodiques pour les travailleurs exposés à des solvants, en particulier dans les secteurs de la peinture industrielle, de la maintenance, de l'impression, ou de la plasturgie.

Parallèlement, des programmes de formation sur l'usage réel des EPI, incluant l'ajustement des masques respiratoires et l'évaluation de l'étanchéité, seraient essentiels. Les observations sur la surestimation déclarative des pratiques préventives montrent que la prévention doit être accompagnée, expliquée, observée et corrigée dans la durée.

Sur le plan réglementaire, les résultats examinés plaident en faveur d'une évolution des normes d'exposition. De nombreux solvants ne sont pas encore explicitement reconnus comme ototoxiques dans les tableaux de maladies professionnelles. Une mise à jour des référentiels, intégrant la dimension auditive, renforcerait le dépistage, l'indemnisation et la vigilance organisationnelle. De plus, la création de valeurs limites d'exposition spécifiques à l'audition, cumulatives et différenciées selon les combinaisons de risque, constituerait un progrès important.

Les perspectives de recherche futures sont nombreuses. Premièrement, l'intégration de biomarqueurs sanguins ou salivaires permettant de quantifier les métabolites des solvants pourrait offrir une mesure objective de l'exposition cumulée.

Deuxièmement, le développement de modèles prédictifs intégrant génétique, comorbidités et données environnementales pourrait permettre de cibler les individus les plus vulnérables.
Troisièmement, la mise en place de cohortes professionnelles suivies sur plusieurs
années aiderait à mieux comprendre les trajectoires de dégradation et de compensation
auditive.

Enfin, au-delà de la dimension biomédicale, les résultats de ce mémoire soulignent la nécessité d'un changement de culture professionnelle. L'audition est un sens souvent
négligé en comparaison de la vision, alors même qu'elle soutient la communication, la coordination, la sécurité et le bien-être psychologique. Les travaux sociologiques montrent que la gêne auditive peut entraîner isolement, erreurs de compréhension, et
tensions professionnelles.

L'approche préventive doit donc être globale, mêlant sécurité,
ergonomie, communication et accompagnement.
Donc, l'analyse rationnelle de la littérature montre que les solvants constituent un risque
auditif réel, précoce, multifactoriel et sous-diagnostiqué. Les atteintes périphériques, centrales et fonctionnelles convergent vers un tableau cohérent, justifiant une surveillance renforcée.

Ce travail contribue à éclairer les interactions complexes entre produits chimiques, bruit et facteurs
individuels. Il ouvre des perspectives de recherche
et d'action qui pourraient, si elles sont mises en œuvre, réduire significativement les atteintes auditives en milieu industriel. À l'heure où la santé au travail évolue vers une approche intégrée, la reconnaissance explicite de l'ototoxicité des solvants apparaît
comme une nécessité scientifique, médicale et sociale.

RÉFÉRENCES

Bourdin, S. (2019). Mesurer la santé au travail : enjeux méthodologiques et statistiques. *Revue Française des Affaires Sociales,* (3), 45–68.

Campo, P., & Maguin, K. (2007). Solvent-induced hearing loss: Mechanisms and prevention strategy. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, *20*(3), 265–270. https://doi.org/10.2478/v10001-007-0031-3

Farfalla, A. A. (2022). Coexposure to solvents and noise as a risk factor for hearing loss. *Journal of Occupational and Environmental Medicine, 64*(9), 753–761. https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002604

Ferrite, S., Santana, V. R., Côrtes, M. G., & Andres, E. M. (2005). Joint effects of smoking, noise exposure and age on hearing: Assumptions of interactions. *Occupational Medicine*, *55*(1), 48–53. https://doi.org/10.1093/occmed/kqi002

Fransen, E., Van Laer, L., Huang, Q., Van Eyken, E., Corneveaux, J., Freiberg, M., ... Van Camp, G. (2008). Occupational noise, smoking, and a high body mass index are risk factors for age-related hearing impairment: A study in European populations. *Hearing Research*, *245*(1–2), 34–44. https://doi.org/10.1016/j.heares.2008.05.018

Fuente, A., & Hickson, L. (2011). Auditory dysfunction associated with solvent exposure. *BMC Public Health, 11*(1), 207. https://doi.org/10.1186/1471-2458-11-207

Fuente, A., & McPherson, B. (2006). Organic solvent exposure and hearing loss: The role of cochlear function. International Journal of Audiology, *45*(6), 362–369. https://doi.org/10.1080/14992020600649005

Fuente, A., & McPherson, B. (2007). Central auditory processing effects induced by solvent exposure. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, *20*(3), 271–279. https://doi.org/10.2478/v10001-007-0032-2

Hormozi, M., Ansari-Moghaddam, A., Mirzaei, R., Dehghan Haghighi, J., & Eftekharian, A. (2017). The risk of hearing loss associated with occupational exposure to organic solvents mixture with and without concurrent noise exposure: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 30*(4), 521–535. https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00830

Hughes, H. (2013). Evaluation of the effects of exposure to organic solvents on hearing loss in an Air Force Reserve population. *Noise & Health, 15*(65), 179–186. https://doi.org/10.4103/1463-1741.114918

Johnson, A. C., & Morata, T. C. (1994). Occupational exposure to chemicals and hearing impairment. American Journal of Industrial Medicine, *26*(5), 735–752. https://doi.org/10.1002/ajim.4700260507

Kramer, S. E., Kapteyn, T. S., & Houtgast, T. (2006). Occupational hearing loss and speech-in-noise performance: Implications for auditory function assessment. *Ear and Hearing*, *27*(1), 19–30. https://doi.org/10.1097/01.aud.0000194519.17066.6b

Le Prell, C. G., Spankovich, C., Lobarinas, E., & Griffiths, S. K. (2013). Extended high-frequency thresholds in college students: Effects of music player use and other demographic variables. *Journal of the American Academy of Audiology*, *24*(8), 725–739. https://doi.org/10.3766/jaaa.24.8.6

Li, X., Rong, X., Wang, Z., & Lin, A. (2020). Association between smoking and noise-induced hearing loss: A meta-analysis of observational studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(4), 1201. https://doi.org/10.3390/ijerph17041201

Morata, T. C. (1994). Interaction of noise and chemicals in the causation of hearing loss. *Noise & Health*, *1*(1), 45–56. https://doi.org/10.4103/1463-1741.99788

Morata, T. C., & Campo, P. (2002). Auditory function after exposure to solvents and noise. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, *28*(5), 349–357. https://doi.org/10.5271/sjweh.678

Occupational Safety and Health Administration. (2018). Preventing hearing loss caused by chemical (ototoxicity) and noise exposure. U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/hearing-protection

Paris, M., Paquet, N., & Chambost, M. (2010). Expositions professionnelles et limites des questionnaires d'évaluation. *Revue de Santé au Travail*, (111), 15–27.

Sliwinska-Kowalska, M., Zamyslowska-Szmytke, E., Szymczak, W., Kotylo, P., Fiszer, M., Wesolowski, W., & Pawlaczyk-Łuszczyńska, M. (2001). Ototoxic effects of occupational exposure to organic solvents. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, *27*(5), 335–342. https://doi.org/10.5271/sjweh.611

Zribi, S. (2020). Les troubles de l'audition en situation de travail : enjeux perceptifs et interactions sociales. *Sociologie du Travail, 62*(3), 321–338. https://doi.org/10.4000/sociologiedutravail.7814