



## Dossier

# ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE: COMMENT CHOISIR LES PLUS ADAPTÉS?

❶ L'utilisation des EPI: une démarche concertée  
P. 22

❷ ProtecPo, un outil de pré-sélection de matériaux de protection cutanée  
P. 25

❸ Recommandations pour évaluer la résistance des semelles anti-perforation textiles  
P. 28

❹ Une étude comparative des systèmes de mesures *in situ* de l'atténuation des protecteurs auditifs  
P. 32

❺ Des équipements plus intelligents  
P. 36

Chaussures de sécurité, bouchons d'oreille, masques et autres équipements de protection individuelle (EPI) peuvent être nécessaires pour protéger les travailleurs des risques en complément des mesures collectives, lorsque celles-ci ne sont pas suffisantes ou ne peuvent être mises en œuvre. La difficulté reste de bien choisir et d'utiliser correctement ces EPI et de disposer d'outils performants d'évaluation de ces dispositifs. Une des priorités pour les professionnels de la prévention est d'y contribuer. Dès aujourd'hui, des outils informatiques d'aide à la décision se développent. Bientôt, les nouvelles technologies vont rendre les EPI plus « intelligents », c'est-à-dire capables de s'adapter aux situations rencontrées. Ce dossier fait le point sur ces enjeux.

**PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT: HOW TO CHOOSE THE MOST APPROPRIATE? – Safety shoes, earplugs, masks and other personal protective equipment (PPE) may be necessary in addition to collective measures in order to protect workers from risks when collective measures are not sufficient or cannot be implemented. The difficulties continue to lie in how to choose the PPE appropriately and how to use it correctly, and in having high-performance assessment tools. One of the priorities for OSH professionals is to contribute to overcoming those difficulties. Computer-aided decision-making tools are developing. Soon, new technologies will make PPE more "intelligent", i.e. capable of adapting better to cope with the situations encountered. This article takes stock of these issues.**

# L'UTILISATION DES EPI: UNE DÉMARCHE CONCERTÉE

Destinés à protéger les travailleurs contre un ou plusieurs risques, les équipements de protection individuelle interviennent en complément des autres mesures de prévention, notamment la protection collective. Comment les choisir ? Quelles consignes adopter pour leur utilisation ? Cet article fait le point sur ces questions essentielles.

**ISABELLE  
BALTY**  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

**ANNIE  
CHAPOUTHIER**  
INRS,  
département  
Études, veille  
et assistance  
documentaires

**CÉDRIC  
DUVAL**  
INRS,  
département  
Produits  
d'information

Le port d'équipements de protection individuelle (EPI) se justifie dès lors qu'il existe un risque résiduel d'exposition et ce, malgré les autres mesures d'élimination ou de réduction des risques. Leur utilisation résulte par conséquent d'une réflexion menée dans l'entreprise suite à l'évaluation des risques. Dans tous les cas, la protection collective doit être prioritaire.

Qu'est-ce qu'un EPI ? Selon le Code du travail, ce type d'équipement désigne un dispositif ou un moyen destiné à être porté ou tenu par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa santé ou sa sécurité. Les EPI diffèrent par leur nature. On distingue, par exemple, les bouchons d'oreilles, les lunettes de protection, les appareils de protection respiratoire et les systèmes d'arrêt des chutes. Les risques contre lesquels les EPI protègent sont également d'origines diverses : biologique (inhalation d'agents biologiques...), chimique (inhalation de vapeurs de solvants, contact des mains avec des produits chimiques...), mécanique (chocs à la tête, projections de particules dans les yeux...), électrique, thermique (travail en chambre froide, projections de métal fondu...), rayonnements ionisants ou non ionisants (laser, ultraviolet...), bruit... Il est à noter que certains EPI protègent contre plusieurs risques, comme les cagoules de soudage protégeant à la fois contre l'inhalation de fumées et les rayonnements dangereux pour les yeux.

## Comment choisir un EPI ?

Cette question cruciale trouve sa réponse dans une démarche concertée et guidée par l'analyse du poste de travail. L'employeur doit tout d'abord évaluer l'importance du risque, la fréquence de l'exposition, les caractéristiques du poste de travail et les performances des EPI figurant dans leur notice d'instructions. Attention, toutefois, à ne pas confondre le niveau de performance et le niveau de protection au poste de travail. En effet, les essais normalisés ne peuvent pas prendre en compte toutes les conditions d'utilisation rencontrées en situation de travail. Dans le cas des gants

de protection chimique par exemple, les classes de perméation ne correspondent pas à des temps de protection au poste de travail.

La seconde étape, pour l'employeur, impose de déterminer, après consultation du CHSCT (ou à défaut des délégués du personnel), les conditions de mise à disposition et d'utilisation des EPI prévues par la réglementation. Ceux-ci sont réservés à un usage personnel et sont fournis gratuitement aux salariés. Si la nature de l'EPI et les circonstances autorisent leur utilisation par plusieurs personnes, les mesures appropriées sont prises pour qu'une telle utilisation ne pose aucun problème de santé ou d'hygiène aux différents utilisateurs. Concernant les travailleurs temporaires, les EPI leur sont fournis par l'entreprise utilisatrice. Mais certains EPI personnalisés, comme les casques et les chaussures, peuvent être fournis par l'entreprise de travail temporaire, conformément à une convention ou un accord collectif.

### ENCADRÉ 1

#### COMMENT ÉLABORER LA CONSIGNE D'UTILISATION ?

L'employeur utilise les informations figurant dans la notice d'instructions rédigée par le fabricant lors de la mise sur le marché de l'EPI. Cette notice contient notamment les données suivantes :

- instructions de stockage, d'emploi, de nettoyage, d'entretien, de révision, et de désinfection ;
- accessoires utilisables avec les EPI et caractéristiques des pièces de rechange appropriées ;
- classes de protection appropriées à différents niveaux de risques et limites d'utilisation correspondantes ;
- date ou délai de péremption des EPI ou de certains de leurs composants ;
- genre d'emballage approprié au transport des EPI ;
- signification du marquage.



© Patrick Delapierre pour l'INRS

Dans un troisième temps, la réflexion relative au choix des EPI associe les travailleurs concernés et tient compte des contraintes de la situation de travail (manutentions intensives, impératifs de dextérité...) et de la compatibilité avec les principes ergonomiques (confort thermique, aisance dans les mouvements, absence d'irritation de la peau...). Il faut vérifier la compatibilité des EPI entre eux et s'assurer de ne pas générer de nouveaux risques. L'utilisation et la conception des EPI sont encadrées par des règles juridiques (Cf. Encadré 2). Dans certaines situations, des textes imposent à l'employeur le recours à des EPI déterminés, comme par exemple, pour les opérations comportant un risque d'exposition à l'amiante (arrêté du 7 mars 2013, J.O. du 14 mars 2013). Dans tous les cas, les services de santé au travail sont en mesure de conseiller utilement l'employeur dans cette étape de choix.

### Elaborer des consignes d'utilisation

Avant de faire un choix définitif, il faut prévoir une période d'essai par le personnel afin de vérifier que les EPI sont adaptés. Ces essais sont d'autant plus importants que les réticences au port de ces

protections peuvent être liées notamment à des questions d'ordre esthétique. Un EPI est d'autant plus facilement porté qu'il renvoie au travailleur une image valorisante.

Une fois les dispositifs de protection individuelle choisis, l'employeur doit informer ses salariés sur les risques contre lesquels ils protègent. Il doit aussi préciser les consignes d'utilisation (Cf. Encadré 1). Celles-ci rappellent la nécessité de contrôler le bon état des EPI par les salariés avant la prise de poste. Elles intègrent les indicateurs de détérioration de l'EPI (usure de composants, décoloration, trou ou déchirure...). Et précisent aussi comment procéder au bon ajustement des EPI (vérification de l'étanchéité pour les appareils de protection respiratoire...) et à leur retrait (procédure de retrait d'une tenue de protection contre un risque chimique, afin d'éviter de se contaminer...). Une signalisation d'obligation de port des EPI peut se justifier en raison des risques liés à la situation de travail (utilisation d'une protection auditive dans un atelier bruyant...). En cas d'intervention d'entreprises extérieures, les informations concernant la fourniture des EPI et leur mode d'utilisa-

Des apprentis d'ERDF se formant à la réalisation de mesures électriques portent des gants adaptés.



ENCADRÉ 2

PRINCIPALES RÈGLES JURIDIQUES CONCERNANT LES EPI

Définition des EPI

- EPI concernés par la réglementation et liste des EPI exclus de ce champ d'application: articles R. 4311-8 à R. 4311-11.
- Définitions des EPI neufs, d'occasion ou maintenus en service: articles R. 4311-1 à R. 4311-3.

Conception des EPI

- Principe de conformité des EPI et constat de non-conformité: articles L. 4311-1 à L. 4311-7.
- Règles techniques de conception: article R. 4312-6 (et annexe II figurant à la fin du titre I du livre III de la partie IV) et articles R. 4311-12 et R. 4311-13 (normes réputées satisfaire aux règles techniques).
- Procédures de certification: articles L. 4313-1; articles R. 4313-20 à R. 4313-42; articles R. 4313-57 à R. 4313-74; articles R. 4313-80 à R. 4313-82; articles R. 4313-17 et R. 4313-18.

- Formalités préalables à la mise sur le marché (déclaration CE de conformité, marquage, documentation technique): articles R. 4313-1 à R. 4313-6.

Utilisation des EPI

- Règles générales, maintien en état de conformité, notice d'instructions: articles L. 4321-1 à L. 4321-5; articles R. 4321-4 à R. 4322-3.
- Caractéristiques, conditions d'utilisation et vérifications périodiques des EPI: articles R. 4323-91 à R. 4323-103.
- Formation et information des travailleurs: R. 4323-104 à R. 4323-106.

EPI d'occasion

- Définition des EPI d'occasion: article R. 4311-2.
- Définition des EPI maintenus en service: article R. 4311-3; articles R.4312-7 à R.4312-9; articles R.4313-14 à R.4313-16.

tion doivent figurer dans le plan de prévention réalisé avec l'entreprise utilisatrice.

Le médecin du travail constitue un relais important pour la sensibilisation et l'information des salariés au port des EPI. Par exemple, lors de la mise en place d'un protecteur contre le bruit, il peut participer à des réunions organisées par l'employeur pour expliquer les mécanismes de la perte d'audition et insister sur la nécessité de porter des protecteurs individuels contre le bruit. L'information des salariés doit être complétée par une formation adéquate comportant, si nécessaire, un entraînement au port de l'EPI. Cette formation sera renouvelée aussi souvent que nécessaire.

Elle est indispensable pour les équipements complexes, comme les systèmes anti-chutes ou les appareils de protection respiratoire.

Essentielles, les vérifications périodiques réalisées sous la responsabilité de l'employeur contribuent au maintien en conformité des EPI. La fréquence des vérifications doit être adaptée aux contraintes auxquelles sont soumis les dispositifs de protection individuelle durant leur utilisation (contact avec des produits chimiques, usure...). Pour certains EPI, la réglementation impose à l'employeur la nature et la périodicité de ces vérifications (arrêté du 19 mars 1993, J.O. du 28 mars 1993). Le résultat de ces vérifications générales périodiques est consigné sur le registre de sécurité.

Par ailleurs, de nombreux textes ainsi que des recommandations de la CNAMTS comportent des dispositions concernant l'utilisation des EPI. L'existence de ces dispositions ne dispense aucunement l'employeur de procéder à l'évaluation des risques de chaque situation de travail afin de déterminer les mesures de protection individuelle adaptées.

Les EPI sont mis au rebut dans deux cas possibles: d'une part, si la date de péremption est atteinte (casque de protection, filtre de protection respiratoire...), d'autre part, s'ils sont détériorés pour quelque motif que ce soit et si leur réparation n'est pas susceptible de garantir le maintien du niveau de protection. Par exemple, un oculaire de lunette rayé ou fendu doit être remplacé, de même qu'un serre-tête antibruit dont les coques sont fissurées. ●

POUR EN SAVOIR +

- *Les équipements de protection individuelle - Règles d'utilisation*, INRS, ED 6077, 24 p.
- *Les équipements de protection individuelle des yeux et du visage*, INRS, ED 798, 40 p.
- *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation*, INRS, ED 6106, 64 p.
- *Les appareils de protection respiratoire*, Fiche pratique de sécurité, INRS, ED 98, 4 p.
- *Les équipements de protection individuelle de l'ouïe. Choix et utilisation*, INRS, ED 868, 36 p.
- *Les casques de protection. Choix et utilisation*, INRS, ED 993, 24 p.
- *Les articles chaussants de protection. Choix et utilisation*, INRS, ED 994, 31 p.
- *Les vêtements de protection. Choix et utilisation*, ED 995, 34 p.
- Voir également l'article « Révision de la directive EPI - qu'est-ce qui change ? qu'est-ce qui reste? », page 18.

# PROTECPO, UN OUTIL DE PRÉ-SÉLECTION DE MATÉRIAUX DE PROTECTION CUTANÉE

Le choix d'une protection cutanée adaptée aux produits chimiques utilisés est une préoccupation importante des entreprises. Or, aucun matériau polymère ne résiste de façon permanente à toutes les substances. Conscients de ces enjeux, l'INRS et l'Institut de recherche en santé et sécurité du travail au Québec (IRSST) ont développé un outil web d'aide au choix des matériaux baptisé ProtecPo.

ALAIN  
CHOLLOT,  
FRANÇOIS  
ZIMMERMANN  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
procédés

**G**ants, combinaisons, bottes... Indispensables à la protection cutanée des travailleurs manipulant des produits chimiques, ces protections individuelles sont d'une efficacité limitée. En effet, un matériau peut être très résistant au contact d'un solvant donné mais inefficace pour un autre. Le choix du type de protection est donc primordial. Problème: les professionnels de la prévention et les utilisateurs de substances chimiques ne disposent pas de moyens simples pour faire leur sélection. Pour remédier à cette situation, l'INRS a développé un logiciel permettant d'identifier les matériaux polymères les mieux adaptés à la protection cutanée contre les solvants. Baptisé ProtecPo, celui-ci repose sur la modélisation des interactions solvant(s)-polymère (Cf. Encadré 1). Son objectif: réduire les risques de contact de la peau avec des produits chimiques, susceptibles de générer brûlures, dermatoses, irritations et autres intoxications par pénétration profonde à travers le

derme de composés toxiques véhiculés par le sang vers des organes vitaux.

Pour comprendre l'intérêt de ProtecPo, il est nécessaire d'en savoir plus sur les protections cutanées. La plupart sont fabriquées à base de matériaux polymères naturels ou synthétiques. Ces derniers confèrent à ces protecteurs une certaine flexibilité mais ne constituent pas un rempart universel contre l'ensemble des produits chimiques utilisés dans les entreprises. De plus, la résistance des protecteurs peut être altérée selon plusieurs processus indépendants: soit par pénétration ou passage du produit chimique à travers des imperfections, des porosités ou les joints du matériau, soit par perméation, phénomène de diffusion à l'échelle moléculaire à travers le matériau qui peut conduire à une dégradation du polymère (gonflement, durcissement, craquelures...). Comment la perméation est-elle évaluée? Le principal moyen consiste à analyser le passage par perméation de substances chimiques à travers un



Technicienne de laboratoire équipée de gants de protection.

© Serge Morillon pour l'INRS

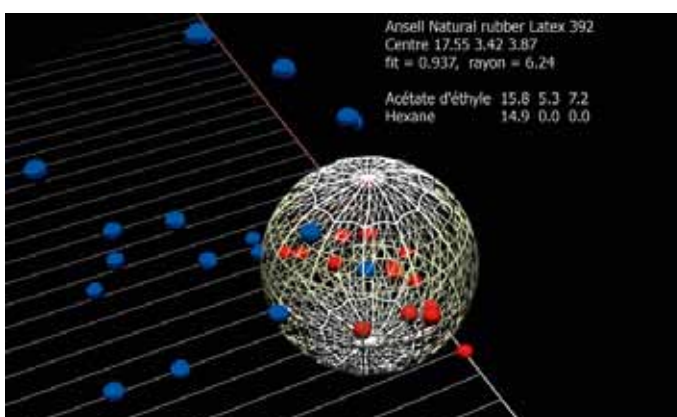


**ENCADRÉ 1  
LA MODÉLISATION AU CŒUR DE PROTECPO**

La grande diversité des produits chimiques utilisés – plus de 100 000 substances sont disponibles sur le marché européen –, mélanges de substances parfois complexes et improbables, rend impossible la réalisation de tests expérimentaux de perméation *a priori*. De ce constat est née une nouvelle

approche, initiée par l'INRS et l'IRSST (Institut de recherche en santé et sécurité du travail au Québec) : une pré-sélection rapide par modélisation des interactions substances-matériaux polymères de protections [4,5]. Ces algorithmes de sélection façonnent les fonctionnalités de ProtecPo. Le niveau de

compatibilité d'un matériau de protection avec une substance chimique a été estimé à partir du calcul de la différence des paramètres de solubilité de la substance et du matériau polymère [6]. Plus les paramètres de solubilité de la substance chimique et du polymère se ressemblent, plus le polymère sera soluble et, par conséquent, moins le matériau sera résistant. *In fine*, une représentation graphique dans l'espace tridimensionnel de modélisation permet de visualiser la sphère polymère (ici, le latex) et les interactions avec les substances chimiques. L'interface utilisateur du logiciel ProtecPo retranscrit les résultats de cette modélisation sous forme de recommandations de protection compréhensibles par tous.



© INRS/IRSST

matériau de protection pour établir son niveau de résistance. Ces tests sont effectués selon des techniques normalisées (NF EN 374-3, NF EN ISO 6529, projet de norme NF EN 16523-1). Ils consistent à déterminer la durée de résistance du matériau et la vitesse à laquelle le produit chimique le traversera par la mesure du passage du produit liquide de la paroi externe à la paroi interne du matériau. Cependant, la mise en œuvre de ces essais n'est pas aisée et nécessite de disposer d'un matériel

adapté. Des banques de données répertoriant la résistance des matériaux polymères de protection aux solvants sont également disponibles dans la littérature [1,2]. L'information provient essentiellement de publications scientifiques ou des fabricants de gants et de vêtements de protection. Pour autant, les données disponibles ne sont pas toujours homogènes, exhaustives ou fiables. Elles ne concernent souvent qu'une seule substance à la fois alors que les produits chimiques industriels sont fréquemment composés d'un mélange de substances. Ainsi, compte tenu de la grande diversité des produits chimiques et des différentes membranes polymères utilisées pour la fabrication des matériaux de protection, il est impossible de réaliser des mesures de perméation pour l'ensemble des combinaisons produit(s) chimique(s)-matériau et d'évaluer de manière exhaustive leur compatibilité. De plus, l'accès à l'information est complexe et limité.

ProtecPo offre une solution à ces inconvénients. Il donne la possibilité de simuler la composition de très nombreux produits chimiques manipulés par les salariés. Concrètement, l'utilisateur peut puiser dans une base de données contenant 1 200 substances pures pour composer son produit chimique (une seule substance ou un mélange de substances) et lancer la recherche de matériaux de protection



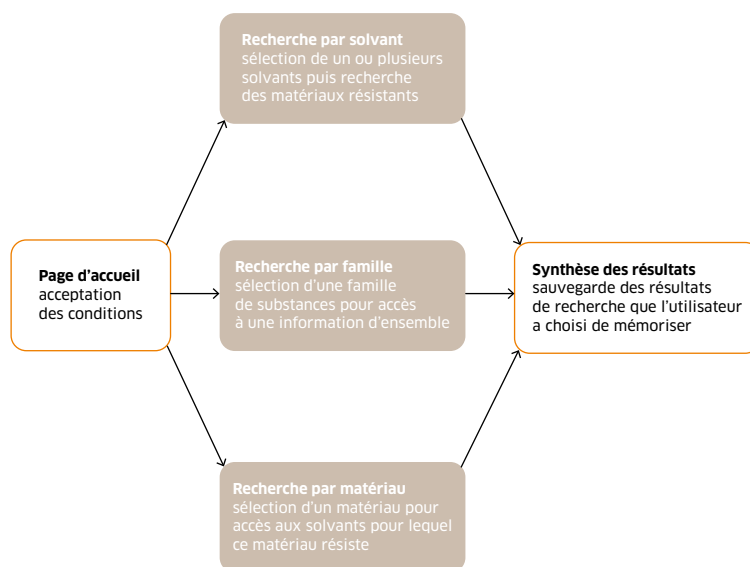
© Guillaume J. Plisson pour l'INRS

Les flacons de solvants tels le toluène doivent être manipulés avec des gants.

compatibles. Autre avantage: son interface est très simple et intuitive. Quelques clics suffisent pour obtenir un résultat fiable. Enfin, la justesse des résultats du logiciel a été validée par des tests expérimentaux de perméation.

### Comment fonctionne ProtecPo?

Accessible en ligne (<https://protecpo.inrs.fr>) et gratuit, ce logiciel propose trois modes de recherche spécifiques: recherche par solvant, recherche par famille de solvants et recherche par matériau de protection (Cf. Figure 1). Le premier consiste à renseigner les substances pures composant le mélange contre lequel l'utilisateur souhaite se protéger. Le pourcentage (fraction volumique) de chacune d'entre elles est paramétrable. En cas d'incertitude sur la composition réelle du produit, une option permet d'ajouter un pourcentage d'impuretés, de solvants inconnus, de solution aqueuse ou d'eau. Une fois ces éléments renseignés, le logiciel propose une liste de matériaux de protection compatibles. Le second mode de recherche donne une vue d'ensemble sur les performances de résistance des protections contre une famille de substances. Il s'adresse à ceux qui ne connaissent pas toujours la composition détaillée des produits qu'ils manipulent. L'utilisateur sélectionne tout d'abord une famille de substances (par exemple alcools, cétones, hydrocarbures). ProtecPo propose alors une liste de matériaux compatibles parmi cinq répertoriés. Pour chacun d'entre eux un symbole indique le niveau de résistance. La troisième possibilité consiste en une recherche inversée par type de matériau polymère. Le logiciel affiche alors la liste des solvants pour lesquels ce matériau est résistant. À tout moment, l'utilisateur peut choisir de mémoriser certaines de ses recherches et les résultats proposés par le logiciel. Une synthèse peut alors être exportée en format PDF, comme support à la mise en place de mesures de prévention du risque chimique. Depuis sa mise en ligne en 2011, ProtecPo, qui est également disponible en anglais, a enregistré plus de 12000 connexions et 34000 requêtes spécifiques [3]. Bien qu'il soit un outil d'aide au choix



apprécié par des utilisateurs de solvants, sa version actuelle connaît des limites (non exhaustivité des substances, pertinence insuffisante de certaines recommandations, prise en compte insuffisante des conditions d'utilisation des substances et de l'état des protections). C'est pourquoi l'INRS va développer de nouveaux outils d'aide à la protection cutanée. Le logiciel ProtecPo va évoluer (enrichissement de la base de données de 1200 à 10000 substances chimiques, optimisation des

↑ FIGURE 1  
L'architecture  
de l'interface  
utilisateur  
de ProtecPo.

### POUR EN SAVOIR +

- *Des gants contre les risques chimiques*, INRS, ED 112, 4 p.

recommandations...) et un appareil de détermination du temps de résistance des protections est à l'étude (kit de perméation). Ce dernier sera complémentaire du logiciel et directement utilisable dans les entreprises et par les préventeurs pour valider expérimentalement les performances des équipements de protection cutanée en fonction des conditions réelles d'utilisation. ●

### BIBLIOGRAPHIE

[1] FORSBERG K., MANSDORF S.Z. *Quick Selection Guide to chemical protective clothing*, 5<sup>th</sup> edition, 2007.

[2] FORSBERG K., KEITH L.H. *Chemical Protective Clothing - Performance Index*, 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley-Interscience, 1999, 639 p.

[3] ZIMMERMANN F. Données statistiques extraites du module administrateur de ProtecPo le 12 juin 2014.

[4] PERRON G., DESNOYERS J.E., LARA J. *Résistance des vêtements de protection aux*

*mélanges de solvants industriels*. Développement d'un outil de sélection. IRSST, Rapport R-305, 2002, 130 p. (fichier pdf sur [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)).

[5] HANSEN C. M. *Solubility parameters. A user's Handbook*, CRC Press, 2007.

[6] LARA J., DROLET D., ZIMMERMANN F., CHOLLOT A., HANSEN C. M. *Software to Predict the Chemical Resistance of Protective Materials*, 3<sup>rd</sup> International Conference of Engineering Against Failure (ICEAF III) 26-28 June 2013, Kos, Greece.



# RECOMMANDATIONS POUR ÉVALUER LA RÉSISTANCE DES SEMELLES ANTI-PERFORATION TEXTILES

Une étude réalisée par l'INRS montre que les méthodes utilisées actuellement pour évaluer la performance des chaussures de sécurité équipées de semelles anti-perforation textiles ne sont pas adaptées aux réalités du terrain. Plusieurs recommandations visant à améliorer ces tests sont proposées.

MICHEL  
JACQUES,  
GHISLAINE  
GRAND  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

Le recours à de simples chaussures de sécurité ne suffit pas toujours pour protéger les salariés. Certains risques imposent parfois le port de chaussures équipées de semelles anti-perforation, aussi appelées inserts, en acier ou en textile (Cf. Figure 1). Leur rôle est d'empêcher des objets pointus de pénétrer dans la chaussure. Mais même ces semelles manquent parfois d'efficacité. Des informations collectées par la Caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France (Cramif) révèlent que des travailleurs ont eu le pied perforé par un clou alors qu'ils portaient des chaussures de sécurité équipées d'inserts en matériau textile.

Afin de mieux comprendre les raisons pour lesquelles ces chaussures ne parviennent pas toujours à assurer la protection attendue, l'INRS a conduit des tests visant à évaluer la performance de plusieurs modèles. Pour cela, l'Institut s'est appuyé sur les spécifications de chaussures de sécurité données par les normes [1-3] et la description des méthodes d'essais normalisées développées initialement pour tester les inserts en acier [4].

L'essai pour évaluer la résistance à la perforation des inserts consiste à faire pénétrer une pointe de dimensions normalisées dans la semelle de la chaussure (Cf. Encadré 1). Concernant les inserts anti-perforation en textile, les normes spécifient que, lorsque les chaussures sont soumises à l'essai en appliquant une force d'au moins 1 100 N, l'extrémité de la pointe ne doit pas perforer la semelle. Une première analyse a été réalisée sur des chaussures équipées d'un insert en textile qui respectent les spécifications de la norme avec la pointe normalisée: la force nécessaire pour perforer la semelle diminue de manière importante si on réalise les essais avec des pointes de charpentier utilisées sur les chantiers de BTP au lieu de la pointe normalisée. Pour certaines chaussures, elle passe très largement en-dessous de la limite de 1 100 N

spécifiés. Cette analyse confirme les observations faites par la Cramif: les chaussures équipées d'un insert textile sont transpercées trop facilement par les pointes rencontrées sur les chantiers. Il est donc apparu nécessaire de vérifier si la méthode utilisée pour les inserts en acier est pertinente pour évaluer les inserts en textile.

Une recherche bibliographique a été réalisée sur les paramètres mécaniques mis en œuvre lors de la marche normale de l'homme. Et ce, afin de vérifier la pertinence de la valeur limite normalisée de la force de perforation par rapport à la force d'appui du pied. Ces recherches montrent que la force maximale du pied sur le sol présente deux pics dont l'intensité varie entre 80 et 140% du poids de la personne [5].

## Sur un chantier, toutes les personnes ne sont pas protégées

Sur la base de ces résultats, et en considérant le cas le plus défavorable (marche avec un pic maximal de 140%), la valeur limite normalisée de résistance à la perforation de 1 100 N correspond à une force appliquée par une personne de 80 kg. Ce poids est légèrement supérieur à la valeur moyenne des hommes (77,4 kg) évaluée lors de la campagne nationale de mensuration [6]. Toutefois, elle ne tient pas compte de la surcharge provenant du port de matériels (sacs de ciment de 25 à 35 kg, caisses à outils...).

Ainsi, la valeur normalisée de résistance à la perforation de 1 100 N ne permet la protection que d'une partie des personnes présentes sur chantiers. Pour des poids de salariés compris entre 80 kg et 120 kg (port de charge compris), la force d'appui appliquée augmente de manière importante (Cf. Tableau 1). On constate, par exemple, qu'une personne de 75 kg portant un sac de ciment de 35 kg nécessiterait un insert résistant à une force minimale de 1 510 N dans le cas où le pic maximal atteint 140%.

Au vu de ces résultats, il semble pertinent d'augmenter sensiblement la valeur limite de résistance à la perforation spécifiée dans la norme. Dans un premier temps, le compromis proposé au comité de normalisation est de 1300 N, force correspondant à une personne de 95 kg ayant une marche avec un pic maximal de 140%.

Au-delà du poids, d'autres paramètres de l'essai normalisé ont été étudiés afin d'évaluer leur influence sur la force de perforation, à commencer par la géométrie des pointes, qui a une influence prédominante.

Suite à des visites de chantier, il s'est avéré que la pointe normalisée n'était pas représentative de celles trouvées *in situ*. Celles-ci présentent essentiellement les caractéristiques suivantes: leur diamètre varie de 2,4 à 5 mm avec majoritairement un diamètre de 3 mm, leur longueur varie entre 50 et 110 mm, leur extrémité est principalement de forme pyramidale, de troncature de plus de 1 mm et avec souvent des angles supérieurs à 30°. Quelques vis et quelques autres pointes avec une extrémité de forme conique ont également été trouvées.

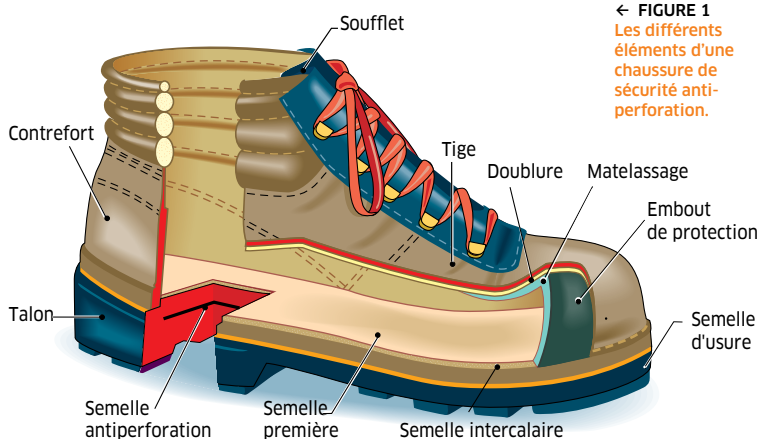
Des tests ont été réalisés sur un type d'insert textile de qualité moyenne (insert n°1), avec une pointe normalisée et d'autres dont les caractéristiques se rapprochent de celles des pointes de charpentiers rencontrées couramment sur les chantiers. La pointe normalisée est de forme cylindrique, d'un diamètre 4,5 mm et son extrémité est conique avec une troncature de 1 mm et un angle de 30°. Les autres pointes choisies couvraient les caractéristiques suivantes:

- la forme de l'extrémité: pyramidale (P) et conique (C);
- le diamètre de la pointe: 2,5, 3 et 4,5 mm;
- la troncature de l'extrémité: 0, 1 et 2 mm;
- l'angle de l'extrémité: 15°, 30° et 45°.

Les essais de perforation ont été effectués à l'aide d'une machine de traction permettant de mesurer la force de pénétration et la déformation de l'insert. S'agissant de mesurer la force de perforation, l'essai a été prolongé jusqu'à ce que l'opérateur détecte visuellement la perforation de l'insert, c'est-à-dire au moment où la pointe perce le textile. Dix mesures ont été réalisées pour chacune des conditions d'essai considérées. La Figure 2 présente la force de perforation obtenue avec des pointes coniques et pyramidales, dont l'extrémité a différentes valeurs de troncature (0, 1 et 2 mm). Le diamètre (4,5 mm) et l'angle de l'extrémité (30°) sont identiques pour les six pointes.

On constate que la force de perforation varie de manière significative en fonction de la géométrie de la pointe utilisée. Pour une même géométrie de pointe, plus la troncature de l'extrémité est élevée, plus la force de perforation est importante. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'une pointe fine va

se glisser entre les mailles du textile, à l'opposé une pointe avec une troncature élevée va être retenue par les fils du textile. En outre, pour une même troncature, la force nécessaire pour perfore l'insert en textile est plus faible avec la pointe de forme pyramidale qu'avec celle de forme conique. La Figure 3 présente la force de perforation obtenue



← FIGURE 1  
Les différents éléments d'une chaussure de sécurité anti-perforation.

nue avec des pointes coniques, dont l'extrémité a différentes valeurs de troncature (0 et 1 mm) et d'angle (15°, 30° et 45°). Le diamètre est identique pour les six pointes. L'angle de la pointe a une très forte influence sur la force de perforation. Un angle plus aigu nécessite moins de force pour perfore les inserts. Pour les pointes ayant une troncature de 1 mm, il y a un rapport de 6 entre la force de perforation avec la pointe de 15° et celle de 45°.

Un autre test a été réalisé pour mesurer l'influence du diamètre sur la force de perforation, à l'aide de pointes de forme pyramidale de 2,5, 3 et 4,5 mm de diamètre. L'angle de l'extrémité est de 30° et la

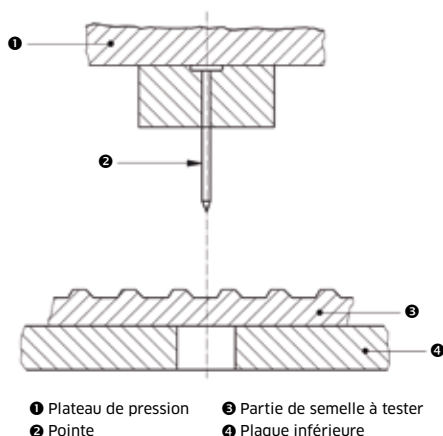
Port de chaussures de sécurité lors d'une opération de pavage sur un chantier de tramway.



troncature de 1 mm. On constate une diminution de la force de perforation lorsque le diamètre diminue. Après avoir mesuré la perforation de plusieurs pointes sur le même insert, nous avons testé cinq types d'insert textile du marché, de qualité et origine différentes avec deux types de pointes sélectionnées parmi les essais précédents. Les inserts avaient une épaisseur comprise entre 3,2 et 4 mm. Les pointes, quant à elles, avaient une extrémité pyramidale, d'angle 30° et de troncature de 1 mm. Cette forme correspond à la plus répandue sur les chantiers. Deux diamètres ont été retenus: 3 et 4,5 mm. La pointe conique normalisée a aussi été sélectionnée. Pour ces tests, les autres paramètres de l'essai normalisé ont été conservés. La Figure 4 présente la force de perforation obtenue sur les cinq types d'insert. L'insert n°1 est celui qui a servi pour établir les résultats initiaux.

**ENCADRÉ 1**  
**ESSAI NORMALISÉ DE PERFORATION DES INSERTS TEXTILES NF EN ISO 20344: 2012**

L'équipement d'essai est constitué d'une machine capable de générer et de mesurer les forces compressives jusqu'au moins 2 000 N. Elle est dotée d'un plateau de pression sur lequel la pointe d'essai est fixée. Une plaque inférieure parallèle percée d'un trou de 25 mm de diamètre supporte la semelle à tester (éprouvette). La pointe d'essai a un diamètre de  $(4,5 \pm 0,05)$  mm et le bout est tronqué selon les formes et dimensions indiquées à la figure ci-dessous. La pointe d'essai est plantée dans l'éprouvette, à une vitesse de  $(10 \pm 3)$  mm/min, jusqu'à ce que la force requise de 1 100 N soit atteinte. La machine est arrêtée. La semelle est contrôlée, par une inspection visuelle ou par une détection électrique ou cinématographique, pour détecter une éventuelle perforation.



On retrouve les résultats obtenus précédemment. D'une manière générale, sur tous les inserts, les forces de perforation sont plus faibles à diamètre égal avec une pointe pyramidale qu'avec une pointe conique. De plus, la pointe pyramidale de diamètre 3 mm entraîne une diminution marquée de la force de perforation par rapport à celle obtenue avec la pointe pyramidale de diamètre 4,5 mm. Le diamètre a une forte influence sur la force de perforation.

Avec la pointe normalisée, seul l'insert n°1 ne permet pas d'atteindre la valeur de 1 100 N préconisée par la norme. Pour les inserts n°3 et 5, la force moyenne de perforation est au-dessus de 1 300 N, avec quelques valeurs en-dessous de cette limite. Les inserts n°2 et 4 résistent à des forces de perforation supérieures à 1 400 N. Avec une pointe pyramidale de diamètre 4,5 mm, les inserts n°2, 3

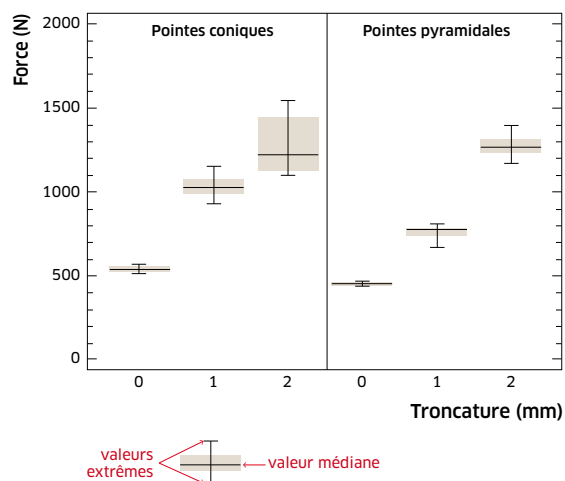
POIDS TOTAL DU SALARIÉ (KG)	FORCE D'APPUI (PIC MAXIMAL À 140%) (N)
80	1 100
90	1 240
100	1 375
110	1 510
120	1 650

↑ TABLEAU 1 Forces d'appui lors de la marche en fonction du poids total du salarié

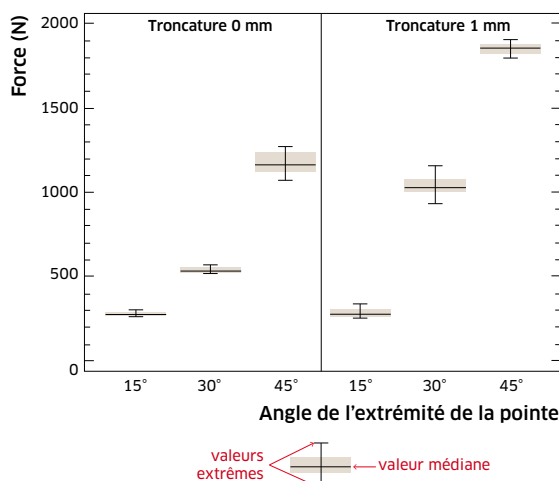
et 4 sont validés avec la valeur de 1 100 N et seuls les inserts n°2 et 4 le resteraient pour la valeur préconisée de 1 300 N. Avec la pointe pyramidale de diamètre 3 mm, aucun insert n'est capable d'atteindre la valeur de 1 300 N. Les inserts n°1, 3 et 5 ne résistent pas à la force de 1 100 N. Pour les inserts n°2 et 4, la force moyenne de perforation est au-dessus de 1 100 N, avec quelques valeurs en-dessous de cette limite.

Au final, cette étude a montré qu'il est nécessaire de revoir la méthode normalisée de la norme NF EN ISO 20344 portant sur l'évaluation de la résistance à la perforation des chaussures équipées d'un insert en textile. Plusieurs recommandations en découlent :

- étant donné que la valeur limite de la résistance à la perforation de 1 100 N, que doivent respecter les inserts pour satisfaire la norme, ne permet pas de protéger tous les salariés, l'INRS préconise d'élever sensiblement cette valeur. Une valeur de 1 300 N correspondrait à la force appliquée par une personne avec sa charge dont le poids total est de 95 kg et intégrerait l'effet dynamique lié à la marche ;
- puisque la pointe conique de diamètre 4,5 mm, utilisée dans la norme, n'est pas suffisamment



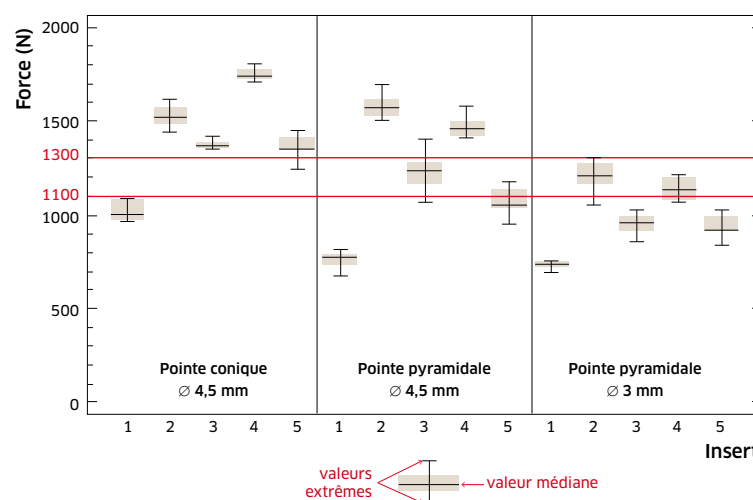
↑ FIGURE 2 Forces de perforation en fonction de pointes de formes et troncatures différentes.



↑ FIGURE 3 Forces de perforation en fonction de pointes d'angles et troncatures différents.

représentative des pointes trouvées sur les chantiers et sous-évalue le risque de perforation des inserts en textile, et que la géométrie de la pointe est très importante au niveau des forces de perforation, l'INRS préconise d'utiliser une pointe similaire à celles trouvées majoritairement sur les chantiers. A savoir, une pointe de diamètre 3 mm à extrémité pyramidale, d'angle de 30° et de troncature 1 mm.

Cinq types d'inserts prélevés sur le marché ont été testés. Quatre d'entre eux répondent aux spécifications de la norme actuelle, mais ne protégeraient probablement pas les salariés contre les pointes rencontrées sur les chantiers. Avec la nouvelle pointe préconisée, seuls deux inserts ont une force moyenne de perforation légèrement au-dessus de 1 100 N. Aucun ne résiste à une force de 1 300 N. En attendant l'évolution de la norme et l'amélioration des performances des inserts en textile, qui ont d'autres avantages (poids, souplesse...), il est nécessaire de préconiser l'emploi de chaussures équipées d'un insert en acier dans les situations de travail où le risque de perforation est élevé, en particulier sur les chantiers. En effet, pour les essais des semelles en acier, la pointe normalisée actuelle est bien dimensionnée et n'est pas remise en cause.



↑ FIGURE 4 Forces de perforation en fonction des qualités d'insert.

Cette étude a été présentée au comité de normalisation en charge des normes sur les chaussures. Les travaux ont alors été relancés pour faire évoluer cette méthode d'essai. D'une manière générale, cette étude permet de rappeler que les équipements de protection individuelle ont toujours des capacités de protection limitées et qu'il est nécessaire de connaître ces limites d'utilisation. ●

## BIBLIOGRAPHIE

[1] NF EN ISO 20345 - Équipement de protection individuelle - Chaussures de sécurité. PARIS, AFNOR, février 2012, 31 p.

[2] NF EN ISO 20346 - Équipement de protection individuelle - Chaussures de protection. PARIS, AFNOR, octobre 2004, 13 p.

[3] NF EN ISO 20347 - Équipement de protection individuelle - Chaussures de travail. PARIS, AFNOR, avril 2012, 13 p.

[4] NF EN ISO 20344 - Équipement de protection individuelle - Méthodes d'essais pour les

chaussures. PARIS, AFNOR, février 2012, 92 p.

[5] LAASSEL E.M., LOSLEVER P., VOISIN PH., HERLANT M. - Analyse multidirectionnelle des forces de réaction du pied au cours de la marche normale. Acta

Orthopaedica Belgica, 58, 3, pp. 272-279.

[6] IFTH - Synthèse Textile-Habillement. Le journal des professionnels du Textile et de l'Habillement, février 2006, N°12 - Hors série, p. 4.

# UNE ÉTUDE COMPARATIVE DES SYSTÈMES DE MESURES *IN SITU* DE L'ATTÉNUATION DES PROTECTEURS AUDITIFS

Les fabricants de protecteurs auditifs commercialisent des outils visant à évaluer *in situ* l'atténuation sonore des casques et autres bouchons d'oreilles. Une étude conduite par l'INRS s'est penchée sur la validité de ces évaluations en les comparant aux méthodes de référence déployées en laboratoire. Ces travaux ont permis de vérifier que trois de ces outils fournissent des résultats satisfaisants.

NICOLAS TROMPETTE, ALAIN KUSY, JACQUES CHATILLON  
INRS, département Ingénierie des équipements de travail

Les protecteurs individuels contre le bruit (PICB) offrent-ils une atténuation conforme à celle affichée sur les notices d'utilisation? Autrement dit, la protection sonore théorique se vérifie-t-elle sur le terrain? Afin d'en avoir une idée plus précise, l'INRS a conduit entre 2011 et 2013 une expérimentation visant à évaluer les dispositifs commerciaux proposés aux entreprises pour vérifier cette atténuation sur chaque salarié. L'objectif était de vérifier la justesse des résultats obtenus.

Une présentation des différentes méthodes de mesures d'atténuation des protecteurs auditifs passifs<sup>1</sup> est nécessaire pour mieux comprendre les résultats de cette étude. À ce jour, la méthode REAT est la référence internationale (Cf. Encadré 1). Elle présente toutefois l'inconvénient d'être trop optimiste. Et pour cause: les sujets sont exercés à ce test et ne sont pas en action de travail. De plus, les protecteurs testés sont neufs. Pour finir, cette

méthode subjective provoque une surestimation de l'atténuation en basse fréquence. De nombreuses études de terrain ont ainsi montré que l'affaiblissement affiché était systématiquement surévalué [2] - fait aujourd'hui universellement admis.

Cette surévaluation peut mettre les utilisateurs en situation de risque auditif. D'où la nécessité, pour bien protéger les salariés, d'estimer au mieux l'atténuation qui sera effectivement obtenue sur le terrain, soit en l'estimant, soit en la mesurant. Pour l'estimer, l'INRS a publié des recommandations [3] et fournit une calculatrice en ligne [4]. Celle-ci permet d'obtenir une estimation collective assurant que la grande majorité des utilisateurs seront suffisamment protégés.

Pour mesurer l'atténuation, les fabricants de PICB ont récemment développé de nouveaux systèmes d'évaluation individuelle et, *in situ*, de l'efficacité des PICB. L'objectif initial de ces systèmes était avant tout de vérifier la bonne mise en place du protec-

## ENCADRÉ 1 LA MÉTHODE REAT

Conformément aux normes internationales, cette mesure de l'atténuation des PICB est effectuée en laboratoire sur un panel de 16 personnes sélectionnées. Il s'agit d'une méthode subjective proche de l'audiométrie tonale<sup>2</sup>, également nommée méthode de « déplacement du seuil d'audition » [1] (en anglais REAT pour *Real-ear Attenuation at Threshold*). Son principe est le suivant: un sujet placé dans un

laboratoire parfaitement isolé est soumis à un stimulus sonore. Pour chaque bande d'octave, il doit indiquer la limite à partir de laquelle il entend le son, avec et sans PICB. La différence des seuils obtenus dans les deux cas par le sujet donne l'atténuation. La moyenne des atténuations, à chaque fréquence centrale d'octave, diminuée d'une fois l'écart-type entre les 16 sujets, permet de calculer la valeur supposée de la protection (APV

pour *Assumed Protection Value*). Cette valeur est celle affichée sur les emballages.

A partir de l'APV, des méthodes de calcul permettent ensuite de déduire les atténuations normalisées des bruits à dominantes hautes, moyennes et basses fréquences (nommées valeurs d'affaiblissement H, M, L) et l'atténuation globalisée (nommée SNR pour *Single Number Rating*).



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS

audio. Elle est donc limitée aux bouchons d'oreille. Les méthodes dérivées de l'audiométrie réalisent un pseudo-audiogramme tonal avec et sans protecteur, en général oreille par oreille. L'atténuation est obtenue par simple différence entre les deux mesures, à l'instar du REAT mais pour chaque oreille. L'audiométrie nécessite un environnement très calme. La mesure est donc réalisée soit en cabine, soit avec un casque audiométrique apportant une importante atténuation des bruits extérieurs.

La plupart des grands fabricants distribuent aujourd'hui des systèmes de mesure reposant sur ces méthodes. Quatre d'entre eux ont été testés. Le premier est l'exposimètre bi-voies SV102 de la société Svantek. Reposant sur la méthode MIRE, il est équipé d'une sonde SV25S capable de mesurer le niveau sonore à l'entrée de l'oreille et sous le protecteur pendant que, simultanément, un autre microphone relève le niveau sonore au niveau de l'épaule. Il est dédié aux serre-têtes (« casques anti-bruit »). Le second dispositif, conçu par la société 3M, est baptisé EARfit. Egalement de type MIRE, il comporte deux microphones permettant les mesures simultanées de la pression sonore au plus près du tympan et au niveau du pavillon de l'oreille. Il est consacré aux seuls bouchons d'oreille de 3M. Le système EARfit affiche directement l'atténuation, après avoir corrigé la mesure au niveau du tympan avec une fonction de transfert propre au bouchon d'oreille testé. À noter qu'un autre système, SafetyMeter de Phonak, utilise également la

teur auditif, gage de l'obtention d'une atténuation proche de celle affichée. Mais ces outils proposent systématiquement une valeur d'atténuation supposée atteinte par l'individu à l'issue du test. Ils vont donc beaucoup plus loin qu'un simple contrôle en se substituant à la méthode normalisée REAT.

### Comment fonctionnent ces systèmes de mesure ?

Ils reposent sur l'une des trois méthodes suivantes : MIRE (Cf. Encadré 2), l'égalisation du niveau sonore ou l'audiométrie. D'autres méthodes ont été développées mais elles ne sont pas encore disponibles sur le marché.

Pour les méthodes utilisant MIRE, le champ acoustique extérieur doit être connu et rester constant entre les mesures, ce qui est très difficile à obtenir sur le terrain. Ce problème a été contourné avec la mise au point de la méthode F-MIRE (*Field-MIRE* ou MIRE « sur le terrain »). La mesure au niveau du tympan n'est ici effectuée qu'oreille occluse tandis que le champ environnant est mesuré simultanément à l'aide d'un second microphone.

La méthode subjective d'égalisation du niveau sonore consiste à demander à des personnes d'équilibrer l'intensité de sons perçus alternativement par chacune de leurs deux oreilles sous un casque

#### ENCADRÉ 2

#### LA MÉTHODE MIRE

La méthode Mire (*Microphone In Real-Ear* : microphone dans l'oreille réelle) est normalisée [5]. Objective, elle est utilisée pour certifier les PICB comportant de l'électronique. Comme son nom l'indique, elle consiste à mesurer avec un microphone miniature la pression acoustique dans le conduit auditif, d'abord oreille ouverte puis oreille occluse (par le PICB). La différence entre ces deux pressions donne l'atténuation. La difficulté de cette méthode réside dans les calculs mathématiques nécessaires à l'obtention des résultats lorsque la mesure est réalisée *in situ*. Dans ce cas, sont mesurées simultanément la pression acoustique environnante et la pression acoustique au niveau du tympan sous le protecteur auditif. La pression acoustique au niveau du tympan doit alors être corrigée par la fonction de transfert du conduit auditif mesurée sur chaque personne ou en moyenne sur un ensemble de personnes ou donnée dans la norme.



méthode Mire. Dédié aux bouchons moulés individuels (BMI) de la même marque, il n'a pas été évalué. Le troisième dispositif de mesure testé est basé sur la méthode subjective d'égalisation. Il est commercialisé sous le nom VeriPRO par la société SPERIAN. Enfin, le quatrième système ayant fait l'objet d'une évaluation est dérivé de l'audiométrie. Il est vendu en France par la société COTRAL sous le nom CAPA. Fonctionnant sur le même principe que CAPA, les dispositifs IntegraFit de la société WorkplacIntegra et Well-Fit du NIOSH (distribué par Michael & Associates) n'ont pas été étudiés. Les tests se sont déroulés de la manière suivante.

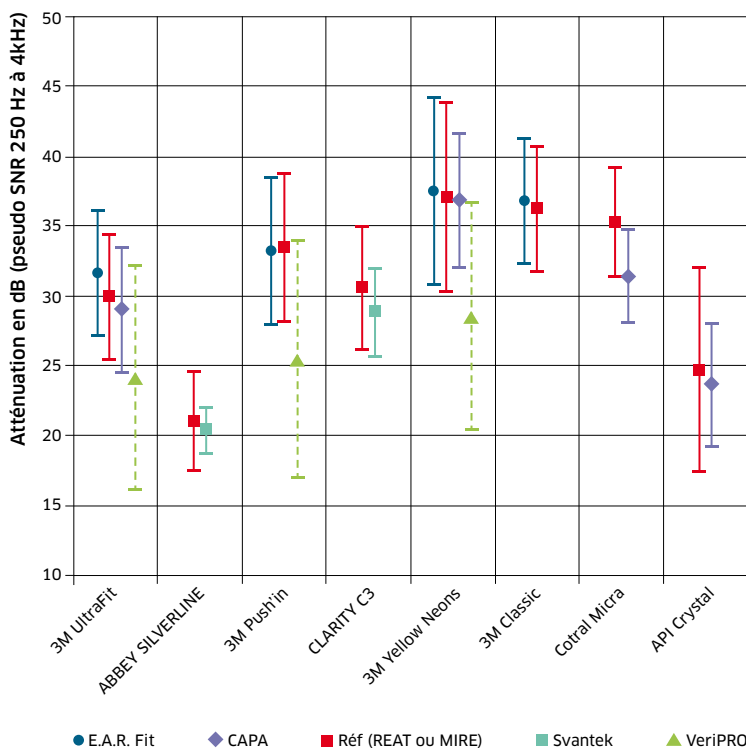


FIGURE 1 ↑  
Comparaison  
des pseudo-SNR  
moyens.

Dans un premier temps, les deux méthodes normalisées, REAT et MIRE, ont été mises en œuvre sur une vingtaine de sujets, afin d'établir des valeurs de référence d'atténuations de PICB. Ces premiers résultats ont ensuite été comparés à ceux obtenus sur les mêmes sujets et pour ces mêmes PICB par les systèmes commerciaux. Pour évaluer la justesse, ce sont les valeurs moyennes d'atténuation par protecteur qui ont été comparées. La comparaison a été faite pour chaque bande d'octave puis en niveau global. Pour évaluer la précision, les comparaisons ont été faites individuellement, pour chaque sujet, et au niveau global. L'atténuation globale servant aux comparaisons, désignée par le terme pseudo-SNR est calculée comme le SNR (*Single Number Rating*) déjà évoqué, mais sans inclure l'écart-type puisque la mesure est individuelle. Les valeurs de référence ont été établies sur deux serre-têtes et six bouchons d'oreille. Les systèmes commerciaux ont

été évalués par comparaison avec deux serre-têtes pour le SV102 et avec quatre bouchons d'oreilles pour les trois autres systèmes, EARfit, CAPA et VeriPRO. La Figure 1 présente une comparaison des pseudo-SNR moyens entre la référence et les systèmes pour chaque protecteur testé.

Le système Svantek SV102 dédié aux serre-têtes montre des atténuations très bien corrélées avec celles de la méthode MIRE, preuve que la méthode F-MIRE est appliquée correctement. Sur les deux serre-têtes, les différences vont de 2 à 4 dB. Les résultats sont donc très satisfaisants. L'atténuation est généralement sous-évaluée, ce qui va dans le sens de la préservation de l'audition. Ce système objectif constitue donc un excellent moyen de vérifier l'efficacité d'un serre-tête.

Le système EARfit dédié aux bouchons 3M montre des valeurs moyennes parfaitement corrélées aux mesures REAT. Les résultats sont assez similaires pour les quatre bouchons d'oreilles testés. Le système est donc juste. En revanche, l'atténuation évaluée individuellement est entachée d'une incertitude non négligeable et le résultat doit être considéré avec précaution. Une atténuation donnée par une telle mesure individuelle devra être affichée à +/- 10 dB.

Le système CAPA, dédié aux bouchons moulés individuels, donne aussi des résultats conformes aux références à partir de 500 Hz. En revanche, les comparaisons des résultats individuels montrent, comme pour EARfit, de forts écarts avec les références. Cette méthode subjective est, de plus, perturbante: les sujets doivent réagir rapidement puisque les seuils sont uniquement montants. Comme pour le système EARfit, il est impératif d'ajouter une marge de +/- 10 dB sur les résultats de mesure pour affirmer que la protection mesurée sera vérifiée sur le terrain.

## POUR EN SAVOIR +

- Retrouvez tous les outils INRS (vidéos, affiches, brochures...) sur les protections individuelles contre le bruit sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

Comme le montre de façon flagrante la Figure 1, le système VeriPRO a donné des résultats bien plus décevants que les trois premiers. Les valeurs moyennes obtenues ne sont pas suffisamment proches des résultats de référence et l'écart-type est très élevé. Les résultats individuels posent un autre problème. Pour environ la moitié des sujets, les courbes d'atténuation présentent des tracés erratiques quand la fréquence augmente, alors qu'en toute logique, plus la fréquence est élevée, plus un bouchon passif homogène protège. Il sem-



© Patrick Delapierre pour l'INRS

Bouchons  
d'oreilles  
sur mesure.

blerait que l'équilibrage des sons ressentis entre les deux oreilles soit difficile à effectuer pour une partie de la population. Le système n'est donc pas utilisable en l'état pour vérifier que l'atténuation affichée par les fabricants est bien obtenue par n'importe quel porteur de bouchon.

Les incertitudes pour une méthode donnée, de même que les variations d'une méthode à une autre, sont intrinsèques à des essais effectués sur des êtres humains. Et ce, qu'ils soient subjectifs (par exemple, la variabilité, d'un sujet à l'autre, d'apprentissage à la réalisation d'un audiogramme) ou objectifs (par exemple, la variabilité du positionnement d'un microphone miniature dans un conduit auditif). Le positionnement et repositionnement d'un bouchon (entre plusieurs essais, chacun pour une méthode) provoquent aussi des variations importantes d'estimation. Ces écarts, compris entre 5 et 10 dB, ne sont donc pas choquants même s'ils peuvent paraître très élevés en valeur absolue.

L'acteur de la prévention en entreprise qui utilisera ces méthodes devra prendre les précautions utiles à leur déploiement: bonne qualité acoustique du lieu d'essai, temps nécessaire suffisant pour faire les essais, capacité de chaque salarié à effectuer les tests subjectifs... Des conditions expérimentales dégradées, pour ces méthodes commercialisées, donneront sûrement des résultats plus dispersés.

En conclusion, les méthodes testées ne sont pas des outils miraculeux qui permettraient d'obtenir, facilement et rapidement, pour tous les salariés et avec une grande certitude, un résultat de protection à utiliser en aveugle. Elles restent, à notre avis, tout à fait comparables, pour leur précision, à

des méthodes d'estimation [4] utilisant, en les corrigeant, les valeurs affichées sur l'emballage ou la notice des protecteurs.

Leur grand avantage est qu'elles font passer le salarié par une phase d'apprentissage à la bonne mise en place du protecteur et à une meilleure motivation au port. Bonne adaptation, pédagogie et motivation: ces trois volets représentent peut-être, finalement, tout l'intérêt de ces méthodes pour les acteurs de la prévention dans l'entreprise. ●

1. Les protecteurs de type passif forment un obstacle à la transmission des ondes sonores à l'appareil auditif. Ils constituent l'immense majorité des PICB vendus aujourd'hui.
2. L'audiométrie tonale consiste à mesurer des seuils d'audition, c'est-à-dire le son le plus faible qu'une personne peut entendre, à diverses fréquences normalisées. Elle est réalisée en cabine insonorisée.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] **NORME NF EN 24869-1** - Protecteurs individuels contre le bruit. Partie 1: Méthode subjective de mesurage de l'affaiblissement acoustique. Paris - La Défense, AFNOR, 1993.

[2] **KUSY A.** - Affaiblissement acoustique *in situ* des protecteurs individuels contre le bruit - Étude bibliographique. Hygiène et sécurité du travail, 212, 3<sup>e</sup> trimestre 2008, ND 2295, pp. 43-59.

[3] **VALEURS LIMITES D'EXPOSITION AU BRUIT ET PORT DE PROTECTEURS INDIVIDUELS. PRÉCONISATIONS DE L'INRS.** INRS, 2012, ED 133, 4 p.

[4] **BRUIT: ESTIMATION DE LA PROTECTION RÉELLE DES PICB (OUTIL 22)** : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

[5] **NORME NF EN ISO 11904-1** - Acoustique - Détermination de l'exposition sonore due à des sources sonores placées à proximité de l'oreille. Partie 1: Technique du microphone placé dans une oreille réelle (technique MIRE). Paris - La Défense, AFNOR, 2002.



# DES ÉQUIPEMENTS PLUS INTELLIGENTS

Capables de s'adapter à leur environnement, les EPI dits intelligents se développent. Contrôle, alerte, détection, géolocalisation comptent parmi les nouvelles fonctionnalités proposées. Si des défis technologiques restent à relever, ces dispositifs offrent déjà, dans certains cas, une meilleure protection.

MICHEL  
JACQUES  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

CÉDRIC  
DUVAL  
INRS,  
département  
Produits  
d'information

L'avenir des équipements de protection individuelle (EPI) passera par l'intégration de technologies capables de les rendre « intelligents ». Les professionnels du secteur cherchent à doter ces dispositifs de nouvelles fonctions: contrôle, traçabilité, géopositionnement, détection, communication, information, alerte... Pour les entreprises utilisatrices, il s'agit d'améliorer la sécurité de leurs travailleurs. Certes, la commercialisation de ces équipements high tech n'en est qu'à ses débuts, mais la recherche est en plein essor. Les entreprises européennes, par l'intermédiaire des projets collaboratifs financés par l'Union européenne dans le cadre du 7<sup>e</sup> programme-cadre de recherche et développement européen, ont développé une certaine expertise dans ce domaine.

Qu'entend-on par EPI intelligent? Contrairement aux équipements classiques, ces EPI innovants sont équipés de systèmes électroniques qui leur donnent la possibilité d'interagir avec leur environnement pour mieux protéger le travailleur ou l'alerter sur un danger. Pour cela, ils collectent des informations à l'aide de capteurs, interprètent ces informations avant de les transmettre et éventuellement d'initier des actions.

Les exemples d'EPI intelligents se multiplient dans de nombreuses professions, particulièrement dans le secteur de la sécurité civile. Celui-ci regroupe des professions qui sont exposées à des accidents dont les conséquences peuvent être très graves. Les pompiers comptent ainsi parmi les métiers les plus impliqués dans la conception de ces nouveaux équipements.

## Une tenue incendie intelligente

Lancé en novembre 2012, le projet européen Smart@Fire a pour objectif la mise sur le marché d'une tenue incendie intelligente, destinée à accroître la sécurité des sapeurs-pompiers lors des interventions à risque. Après avoir réalisé un état des lieux des technologies existantes, le projet aborde actuellement la conception d'un cahier des charges.

En attendant, les marins-pompiers de Brest et de Toulon ont déjà testé une veste conçue par

les sociétés Balsan et Technisolar Séni. Munie de plusieurs capteurs, cette veste mesure et transmet par ondes radio des informations vitales. En effet, parce qu'ils sont de plus en plus protégés, les sapeurs-pompiers ont de plus en plus de mal à percevoir leur environnement. Ils éprouvent notamment des difficultés à ressentir des températures élevées, préalables à un embrasement généralisé. Ils perdent ainsi de précieux indices quant à la situation dans laquelle ils opèrent. Dotée de capteurs de température, cette veste déclenche une alarme sonore et visuelle lorsque la température dépasse 45°C sous la veste et 144°C à l'extérieur. Un autre capteur détecte le taux d'humidité pour prévenir le risque de brûlure par vapeur d'eau. La veste dispose également de détecteurs d'immobilité (qui peut traduire une perte de conscience du



© Gaël Kerbaol/INRS

pompier) et de gaz nocifs. Elle permet aussi une géolocalisation grâce à une antenne active intégrée qui émet en GSM, GPRS ou Immarsat. Enfin, toutes ces données sont transmises en temps réel à un centre de contrôle.

La société Bodysens a, pour sa part, développé une cagoule à destination des sapeurs-pompiers. Elle est munie de capteurs permettant de mesurer et d'envoyer à distance la température de la peau du pompier, son rythme cardiaque, la détection de ses mouvements et sa géolocalisation. Baptisée APPI-Phy (*Active Protection Personal Instrument - Physiology*), elle est également dotée d'un système de communication vocale spécifique. L'objectif est de collecter des informations physiologiques de personnes engagées en milieu hostile afin d'analyser l'état de leurs capacités opérationnelles mais aussi de limiter le stress en intervention grâce à un contact vocal permanent.

De fait, même si la surveillance physiologique participe à la prévention, un élément complémentaire essentiel pour la sécurisation des interventions est la communication avec l'équipe. Bodysens a donc développé APPI-Com, outil de communication en mode « conférence mains libres », capable de fonctionner sur une portée de 1000 mètres ou à travers les murs, *via* un réseau autonome. L'idée est de combiner ces outils dans un ensemble intégré afin de rendre l'EPI plus performant et plus réactif. Car il ne s'agit pas seulement de transmettre des informations brutes, qui seraient insuffisantes. L'objectif est également d'analyser et d'exploiter ces informations pour aider à la décision. À ce jour, APPI-Phy est utilisé par les pompiers dans le cadre de formations tandis qu'APPI-Com se généralise pour une utilisation industrielle en milieux hostiles.

## Un appareil de protection respiratoire communicant

D'autres domaines bénéficient d'innovations comparables. Dans le domaine du risque chimique, l'allemand Dräger propose un nouvel appareil de protection respiratoire isolant communicant, le FPS-COM, équipé d'un système d'affichage tête haute utilisant des diodes électroluminescentes (Led). Il dispose de capteurs de pression, de température, de mouvement et d'indicateurs pour alerter sur l'autonomie restante en air.

On l'aura compris: les applications se multiplient. Pour autant, de nombreux défis restent à relever avant que l'usage des EPI intelligents ne se généralise. L'un des enjeux consiste notamment à combiner les différents capteurs au sein d'un équipement de protection. En effet, lorsque l'on intègre plusieurs composants électroniques dans du textile, ceux-ci ont tendance à se déconnecter facilement. De plus, la fusion des données est primordiale en vue d'obtenir une analyse suffisante de l'environ-

nement et du salarié. La question de l'alimentation énergétique est également cruciale. Efficaces, les batteries lithium-ion posent néanmoins des problèmes de sécurité.

De manière générale, il est important de rendre ces EPI intelligents faciles à utiliser pour favoriser leur appropriation sur le terrain par les utilisateurs. Ces outils doivent être pratiques non seulement à porter mais aussi à entretenir. Or, l'intégration de périphériques électroniques complexifie cette étape. La résistance des compo-



Cagoule APPI-Phy pour les sapeurs-pompiers.

sants électroniques au lavage fait aujourd'hui l'objet d'investigations. L'une des solutions pourrait être d'enrober ces composants dans une matière respirante protégeant de l'eau mais laissant passer l'air. Ces innovations représentent également un surcoût important par rapport aux EPI classiques. Selon les nouvelles fonctions apportées, il peut varier de 30% à 300%. Cette hausse de prix pourrait néanmoins être compensée par une sécurité accrue du travailleur. Outre le montant d'acquisition, il faudra pouvoir démonter et recycler ces accessoires hautement technologiques au moment de leur fin de vie. Sans oublier les questions de réglementation et de normalisation.

Enfin, certains problèmes d'acceptation par les utilisateurs voient le jour. D'aucuns craignent que ces équipements connectés constituent un moyen de surveiller et d'évaluer leurs performances. Dans tous les cas, il apparaît pertinent de concevoir des EPI intelligents spécifiques pour chaque type d'activité. En effet, chaque métier répond à des exigences et des contraintes différentes. ●