

# HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

La revue technique de l'INRS  
juillet • août • septembre 2024

N° 276

## / Décryptage /

Recherche en santé  
au travail : prise  
en compte du sexe dans  
les études de toxicologie

## / Notes techniques /

Prévention des collisions  
engins – piétons :  
quelle place pour les  
systèmes d'avertissement  
ou d'évitement  
de collision?

Réduction du risque HAP  
pour les procédés  
de traitement thermique :  
application à la  
cémentation gazeuse  
basse pression

## / Veille & prospective /

Emplois verts en Europe  
en 2050 : enjeux  
en matière de santé  
et sécurité au travail



**Dossier**

## Équipements de protection individuelle : le dernier rempart contre les risques

# L'INRS

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). L'Institut est géré par un conseil d'administration paritaire composé, à parts égales, d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, présidé alternativement par un représentant d'un de ces collèges. Financé en quasi-totalité par l'Assurance maladie – Risques professionnels, à qui il apporte son concours, l'INRS inscrit son action dans le cadre des orientations de la branche Accidents du travail – maladies professionnelles (AT/MP). Ses domaines de compétences couvrent les risques physiques (bruit, vibrations, champs électromagnétiques, machines...), chimiques, liés aux substances comme aux procédés (solvants, poussières...), biologiques (infectieux, immunoallergiques...), électriques, incendie / explosion, psychosociaux et organisationnels... Sa mission est de contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, et plus précisément:

- d'identifier les risques professionnels;
- d'analyser leurs conséquences sur la santé de l'homme au travail;
- de concevoir, de diffuser et de promouvoir des solutions de prévention auprès de tous les acteurs de la prévention: spécialistes des risques professionnels en entreprise ([Q]HSE, IPRP, cadres et fonctionnels en charge de la sécurité et de la santé au travail, animateurs de sécurité, personnes compétentes...), experts – conseil, chefs d'entreprise, élus CSE/CSSCT/CHSCT/RP, salariés, agents du réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP), services de prévention et de santé au travail (interentreprises ou autonomes)...

Les activités de l'INRS s'organisent selon quatre axes (en plus des métiers supports): études et recherche, assistance, formation et information / communication.

## > Notre métier, rendre le vôtre plus sûr



Retrouvez-nous  
sur le Web:

Ou abonnez-vous  
en ligne sur:

**hst.fr** 

**ÉQUIPE DE RÉDACTION**

**Antoine Bondéelle**  
Rédacteur en chef, INRS  
**Patricia Bernard**  
Rédactrice en chef adjointe, INRS  
**Aline Marcelin (INRS),**  
**Taina Grastilleur, Maud Foutieau**  
Corrections, secrétariat de rédaction  
**Amélie Lemaire (INRS),**  
**Nathalie Florczak**  
Maquettes et infographies  
**Nadia Bouda**  
Iconographe, INRS  
**Sandrine Voulyzé**  
Chargée de fabrication, INRS  
**Nadège Marmignon**  
Assistante, INRS

**COMITÉ ÉDITORIAL**

**Agnès Aublet-Cuvelier**  
Direction des Études et recherches,  
INRS  
**Patricia Bernard, Antoine Bondéelle**  
Équipe de rédaction, INRS  
**Patrick Laine**  
Chef du département Expertise  
et conseil technique, INRS  
**Louis Laurent**  
Directeur des Études et recherches,  
INRS  
**Jean-Pierre Leclerc**  
Chef du département Ingénierie  
des procédés, INRS  
**Fahima Lekhchine**  
Chef du département Information  
et communication, INRS  
**Jérôme Triolet**  
Direction des Applications, INRS  
**Delphine Vaudoux**  
Responsable du pôle  
Publications périodiques, INRS

**ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO :**

Jean-Jacques Atain-Kouadio,  
Jean-Christophe Blaise,  
Ève Bourgard, Myriam Bouslama,  
Marjolein Caniels, Annie Chapouthier,  
Patrick Chevret, Laurent Claudon,  
Jennifer Clerté, Christian Darne,  
Jean-André Deledda,  
Valérie Demange, Peter Dickinson,  
Laurent Gaté, Valérie Genevès,  
Michèle Guimon, Thierry Hanotel,  
Sandrine Hardy, Michel Héry,  
Catherine Jarosz,  
Laurent Keranguéven,  
Totti Könnöä, Mikkel Knudsen,  
Juliette Kunz-Iffli,  
Pascal Lamy,  
Mireille Lapoire-Chasset,  
Lucas Lenne, Heila Lotz-Sisitka,  
Mathieu Marchal,  
Fatima Matamoros-Marin,  
Gautier Mater, Alexander Mertens,  
Frédéric Michaud, Hubert Monnier,  
Wahib Ouazzani, Aurélie Périsset,  
Jean-François Sauvé,  
Carsten Schiffer, Carole Seidel,  
David Tihay, Sarah Valentino,  
Liën Wioland,  
les relecteurs internes de la revue,  
les pôles Information juridique  
et Traductions de l'INRS,  
ainsi que les photographes cités.

# L'édito de...

**WAHIB OUAZZANI**, Société 3M, président de la commission de normalisation pour le groupe de coordination EPI (commission S70A).



© Rémy Lecourieux

Bien qu'ils soient le dernier rempart à actionner en matière de prévention des risques professionnels – puisque les principes généraux qui régissent l'organisation de la prévention visent, entre autres, à éviter et à combattre les risques à la source, à adapter le travail à l'homme et à privilégier les mesures de protection collective –, les équipements de protection individuelle (EPI) jouent un rôle crucial pour prévenir les risques d'accident du travail et les maladies professionnelles. Avec l'évolution des réglementations, des usages et des technologies, il est à souligner que l'industrie des EPI est engagée depuis quelques années dans un mouvement d'innovations pour répondre aux besoins actuels. Des EPI innovants sont des équipements qui intègrent de nouvelles technologies, des matériaux avancés, des fonctionnalités améliorées, des matériaux durables et des solutions

ergonomiques pour offrir une meilleure protection des travailleurs. De leur côté, les entreprises recherchent activement des solutions efficaces pour protéger leurs employés et réduire les contraintes au poste de travail. La nécessité d'avoir un cadre réglementaire permettant d'intégrer ces innovations tout en protégeant des risques émergents est donc indispensable pour l'ensemble des acteurs du secteur. L'Afnor, en tant qu'organisme de normalisation, joue un rôle clé dans l'établissement des normes pour garantir la qualité et la sécurité des EPI. Les parties prenantes du secteur des EPI participent activement aux travaux

d'élaboration des normes européennes harmonisées au titre du règlement EPI. Elles fixent les règles du jeu et permettent ainsi d'écarter ceux qui ne les respectent pas. Durabilité, présence de substances préoccupantes, déchets, matières recyclées, impacts sur l'environnement, y compris l'empreinte carbone et environnementale..., la prise en compte des enjeux environnementaux lors de

**« L'efficacité d'un EPI va dépendre non seulement des technologies qui le composent, mais surtout de son adaptation à la personne qui le porte. »**

la conception et de la fin de vie de l'EPI devient une préoccupation grandissante, notamment auprès des utilisateurs d'EPI. L'ergonomie est aussi un élément clé et l'ajustement optimal de l'EPI à la personne qui le porte est déterminant pour la protéger correctement. En effet, l'efficacité d'un EPI va dépendre non seulement des technologies qui le composent, mais surtout de son adaptation à la personne qui le porte. Vous aurez l'occasion de découvrir dans le dossier traité dans ce numéro une actualité liée à la protection respiratoire et comment tester son ajustement, avec un article rappelant que, même si un masque est certifié CE, il peut ne pas garantir une protection adéquate s'il n'est pas correctement ajusté. Autre innovation abordée dans ce dossier, en dehors du périmètre des EPI, mais qui est source de nombreux espoirs concernant l'amélioration des conditions de travail : l'arrivée sur le marché des exosquelettes, dont l'usage peut aussi soulever de légitimes questions en matière de santé et de sécurité. En continuant à encourager l'innovation dans le domaine des EPI, la normalisation, à laquelle contribuent d'ailleurs certains experts de l'INRS, joue un rôle central et contribue à créer des environnements de travail plus sûrs et plus efficaces pour tous.

# SOMMAIRE

## Savoirs & actualités

### Décryptage

Recherche en santé au travail :  
prise en compte du sexe  
dans les études de toxicologie  
P. 05

### Actualité juridique

- Même occasionnel, le travail  
de nuit doit être justifié  
P. 12

- Obligation d'établir  
un protocole de sécurité

lors des opérations  
de chargement  
et de déchargement  
P. 16

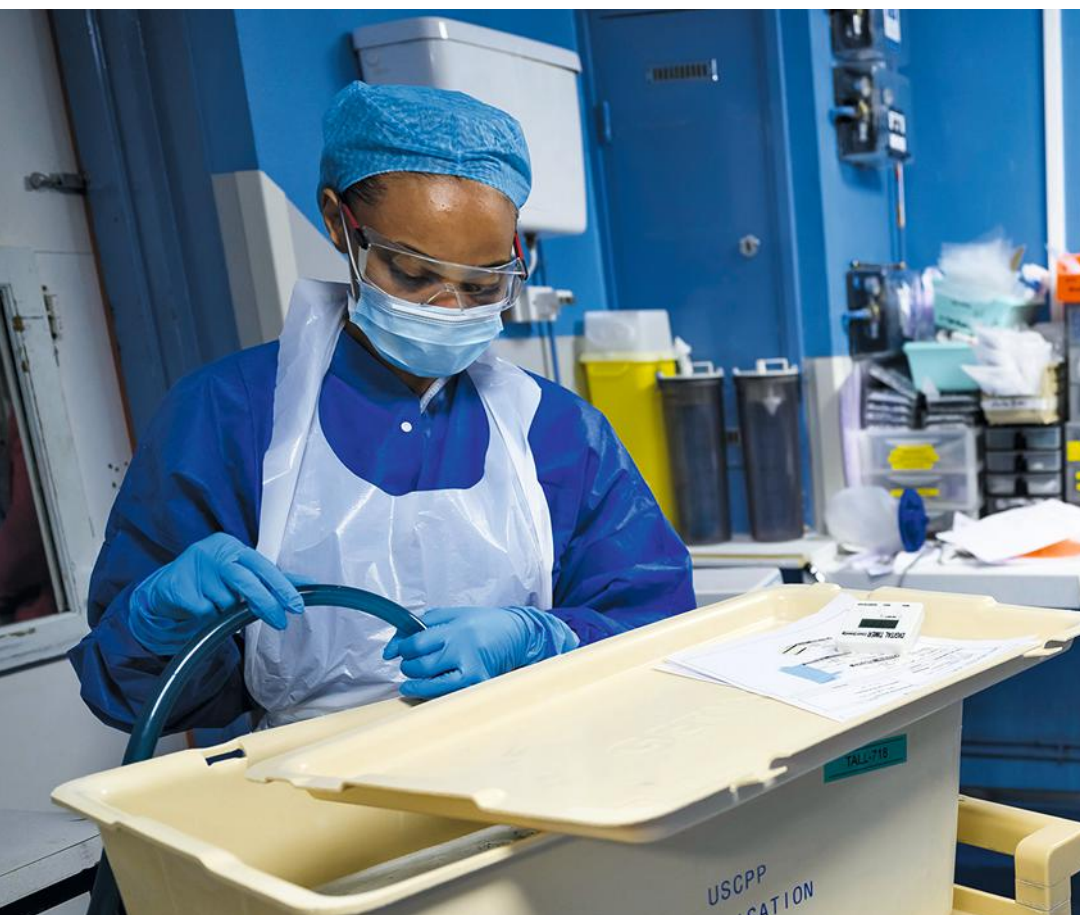
### Normalisation

Disparités de genre en santé  
et sécurité : comment  
les femmes sapeurs-pompiers  
sont défavorisées  
en matière de vêtements  
de protection  
P. 18

### Dossier

Équipements de protection  
individuelle : le dernier rempart  
contre les risques

- Les EPI, fonctionnalités  
et caractéristiques dédiées  
à la protection des travailleurs  
P. 24
- La conception et l'utilisation  
des EPI : approche réglementaire  
P. 26
- Comment travailler  
à l'acceptation des EPI en tenant  
compte de la représentation  
et de la perception des risques ?  
P. 29
- Les EPI contre  
les chutes de hauteur  
P. 32
- Comparaison des essais  
normatifs concernant  
les équipements  
de protection individuelle  
et les dispositifs médicaux  
P. 36
- Protection respiratoire :  
un nouveau dispositif  
pour l'habilitation des  
opérateurs d'essais d'ajustement  
P. 44
- Les exosquelettes  
sont-ils des EPI ?  
P. 47



© Gaël Kerbaecq/NRS/2022

EPI : le dernier rempart contre les risques  
(lire le dossier p. 22).





# Études & solutions

## Notes techniques

- Prévention des collisions engins – piétons : quelle place pour les systèmes d'avertissement ou d'évitement de collision ?

P. 51

- Réduction du risque HAP pour les procédés de traitement thermique : application à la cémentation gazeuse basse pression

P. 58

## Étude de cas

- Systèmes de masquage sonore en *open space* : une efficacité discutable

P. 68

## Bases de données

- Exposition professionnelle aux substances chimiques et biologiques dans les territoires d'outre-mer : analyse des données de la base Colchic

P. 76

À ce jour, la base de données Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 agents chimiques et biologiques, et représente un outil d'aide pour l'identification des axes prioritaires de prévention du risque chimique.



# Agenda & services

## Formation

Les formations 2025 à la santé et sécurité au travail : une offre renouvelée et différentes modalités

P. 85

Agenda/Formations

P. 88

## Congrès

Agenda/Événements

P. 90

## Sélection bibliographique

À lire, à voir

P. 92




# Veille & prospective

## Prospective

L'avenir des compétences et des emplois verts en Europe en 2050 : scénario et implications politiques ; conséquences pour la prévention des risques professionnels

P. 97



# Savoirs & actualités

## Décryptage

Recherche en santé au travail :  
prise en compte du sexe  
dans les études de toxicologie  
P. 05

## Actualité juridique

Même occasionnel,  
le travail de nuit doit être justifié  
P. 12

Obligation d'établir un protocole  
de sécurité lors des opérations  
de chargement et de déchargement  
P. 16

## Normalisation

Disparités de genre en santé et sécurité :  
comment les femmes sapeurs-pompiers  
sont défavorisées en matière  
de vêtements de protection  
P. 18

## Dossier

Équipements de protection individuelle :  
le dernier rempart contre les risques  
P. 22

## Décryptage

# RECHERCHE EN SANTÉ AU TRAVAIL : PRISE EN COMPTE DU SEXE DANS LES ÉTUDES DE TOXICOLOGIE

Le genre, les différences liées au sexe sont aujourd'hui des sujets médiatiques et sociétaux. Si la prise en compte du sexe en recherche biomédicale ou en santé au travail est une nécessité, il convient de mentionner qu'elle n'est pas nouvelle, mais nécessite sans doute une communication sur ce qui est conduit, comment sont appréhendés ces sujets et aussi quelles en sont les contraintes et les limites. Cet article présente quelques données concernant ces différents aspects.

**OCCUPATIONAL HEALTH RESEARCH: TAKING BIOLOGICAL SEX INTO ACCOUNT WHEN STUDYING TOXICOLOGY – Gender- and biological sex-related differences have become societal topics receiving much media attention. While accounting for biological sex in biomedical research and occupational health is essential, it is important to note that it is not new. However, there is undoubtedly a need to communicate on what is conducted, how these subjects are tackled, and the related constraints and limitations. This article presents some data on these various aspects.**

CHRISTIAN  
DARNE,  
CAROLE  
SEIDEL,  
SARAH  
VALENTINO,  
LAURENT  
GATÉ  
INRS,  
département  
Toxicologie et  
biométrie

À la fin de l'année 2020, deux rapports, l'un émanant du Haut Conseil à l'égalité entre les femmes et les hommes [1], et l'autre en provenance de la Haute Autorité de santé [2], alertaient sur la nécessité d'aborder les questions de santé en prenant en compte les effets différenciés liés au sexe (Cf. Encadrés 1 et 2).

Ces deux rapports donnaient un certain nombre de recommandations pour cette prise en compte dans les politiques publiques, et quelques-unes pour ce qui concerne le domaine de la recherche : l'évaluation des effets du travail de nuit sur les risques de cancers professionnels chez les femmes (notamment, le cancer du sein) ; l'étude du risque et l'amélioration de la prise en charge de l'ostéoporose chez les hommes ; l'importance d'évaluer l'impact des expositions aux agents physiques et chimiques sur les femmes, mais également sur leur descendance et son développement ; et l'importance de conduire les expérimentations animales sur les deux sexes. Si ces rapports récents remettent en lumière la question de la prise en compte des effets du sexe sur les résultats de la recherche, il est légitimement

souhaitable de se demander quelles sont les pratiques actuelles et les recommandations appliquées dans le champ de la recherche en santé au travail, et plus particulièrement la toxicologie. Cet article a pour objet d'apporter un éclairage sur la pertinence de la prise en compte du sexe dans la recherche en toxicologie professionnelle.

### Homme/femme : des différences...

Entre hommes et femmes, il existe beaucoup de différences d'ordre biologique. Sans exhaustivité, on peut citer, outre les différences liées aux caractères sexuels primaires et secondaires, les différences de surface corporelle, de localisations des tissus adipeux, de taille des organes, de flux sanguin, de masse musculaire, de débit cardiaque, de fonctions pulmonaires, de fonctionnement du tractus gastro-intestinal, de la nature des hormones secrétées et de leurs concentrations, du bagage enzymatique, sans parler de toutes les variations d'expression et de régulation géniques – notamment celles liées à la présence des chromosomes X ou Y\* (Cf. Glossaire<sup>1</sup>). En santé au travail et lorsque sont évoquées les expositions professionnelles à des agents toxiques,



ENCADRÉ 1

**LE SEXE ET LE GENRE**

Selon le rapport de la Haute Autorité de santé de 2020, « le terme *sexe* est employé pour désigner le sexe biologique d'une personne ou d'un groupe. Utilisé seul, il recouvre le sexe chromosomique, le sexe gonadique, le sexe anatomique et le sexe physiologique [...]. Le terme *genre* se réfère à la représentation sociale du sexe : tantôt l'expérience de genre, soit le genre avec lequel la personne est perçue en société ; tantôt l'identité de genre, soit le genre avec lequel la personne se perçoit. [2] »

Le Haut Conseil à l'égalité entre les femmes et les hommes précise, dans son rapport de novembre 2020 [1] : « Le sexe désigne les caractéristiques biologiques (chromosomes, organes

génitaux, hormones, fonctions reproductives) qui différencient les mâles des femelles, y compris dans l'espèce humaine. En ce sens, les différences entre femmes et hommes peuvent être décrites en termes de mécanismes génétiques, moléculaires, biochimiques et physiologiques. »

« Le genre est un concept qui désigne les processus de construction sociale et culturelle des identités féminine et masculine. C'est un outil d'analyse des rapports sociaux et des normes qui différencient et hiérarchisent les rôles des femmes et des hommes dans une société. Le concept de genre repose sur un corpus de recherches validées dans de nombreux domaines :

sociologie, philosophie, anthropologie, histoire, psychologie et biologie.

Ces différentes disciplines s'accordent pour montrer comment, dans toutes les sociétés qui ont été étudiées, le sexe biologique ne suffit pas à faire une femme ou un homme. »

« Il est important de souligner que les notions de sexe et de genre ne sont pas des catégories séparées. Les deux s'articulent dans un processus d'incorporation ("embodiment") qui désigne l'interaction permanente entre le sexe biologique et l'environnement social et culturel, et ce dès la naissance et même avant. La biologie se répercute sur le genre et réciproquement, le genre influence la biologie. »

les spécificités liées au sexe ont des conséquences fortes sur l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'élimination des substances.

**... conduisant à des effets différenciés selon le sexe**

Ces différences physiologiques, génétiques et métaboliques se retrouvent dans la réponse des organismes aux xénobiotiques\*, comme cela a pu être mis en évidence dans certains travaux. Par exemple, une étude menée aux États-Unis dans le domaine pharmaceutique montrait que, pour certains médicaments, il peut exister 40 % de différence en fait de pharmacocinétique\* entre les femmes et les hommes [3]. De même, les femmes soudeuses excrètent plus d'aluminium, de chrome et de manganèse que les hommes soudeurs, après exposition aux fumées de soudage [4]. Une étude globale des données publiées en transcriptomique\* et protéomique\* mettait en évidence que les profils d'expression des gènes ou des protéines pouvaient varier de 50 % à 75 % entre les hommes et les femmes, après exposition à une substance chimique. Si ces techniques à haut débit et l'exploitation des ensembles de données (*Big data*) ainsi obtenus représentent une avancée majeure pour la compréhension des mécanismes d'actions des xénobiotiques, l'interprétation de ces données doit être questionnée au regard du sexe, ce qui n'est pas toujours possible en utilisant des modèles cellulaires *in vitro* comme cela est souvent le cas dans le cadre des recherches menées actuellement [5].

Le dimorphisme sexuel génétique explique, au moins en partie, le métabolisme différentiel observé entre les hommes et les femmes, et entre les mâles et les femelles d'autres espèces animales [6]. De même, l'analyse transcriptomique\* de 23574 transcrits de tissus murins hépatiques, adipeux, musculaires et cérébraux a montré des schémas d'expression de gènes sexuellement dimorphes (d'expression différente selon le sexe) hautement spécifiques des tissus : au niveau du cerveau, 14 % des gènes sont exprimés de façon différente en fonction du sexe, alors que 70 % le sont dans le foie [7].

Si ces données illustrent des différences réelles, d'autres travaux objectivent les effets des substances sur le métabolisme et la santé en fonction du sexe.

Sur la période 1997-2000, 8 des 10 molécules retirées du marché, précédemment approuvées par la FDA (*Food and Drug Administration*, États-Unis d'Amérique) l'ont été en raison d'effets néfastes mal appréciés, qui étaient plus importants chez les femmes que chez les hommes [8].

En 2018, une analyse des données de pharmacovigilance des autorités sanitaires néerlandaises montrait que, sur les 2483 cas de signalement d'effets indésirables à la suite d'un traitement médicamenteux, 15 % étaient liés au sexe, avec des effets observés majoritairement chez les femmes (87 %) [9].

En 2012, une méta-analyse d'études épidémiologiques mettait en évidence une sensibilité respiratoire accrue des femmes aux expositions aux poussières inorganiques, avec toux chronique, asthme et baisse des fonctions pulmonaires [10].



Par ailleurs, dressant une revue de la littérature, Ray *et al.* [11] soulignaient, en 2019, les différences de réponses observées entre les deux sexes (dommages induits et réponse inflammatoire) après une exposition à des nanomatériaux carbonés, des particules d'argent, d'or, d'oxydes métalliques, de silices ou encore de fibres d'amiante. Ces travaux renforçaient l'importance de prendre en compte le sexe comme variable dans les études de toxicologie. Une autre étude, recherchant les mécanismes moléculaires impliqués dans la survenue de lymphome à la suite d'expositions aux PCB (polychlorobiphényles) sur 649 sujets, a montré que les voies de signalisation cellulaire\* mises en jeu étaient différentes, et que très peu de similarités étaient trouvées entre les femmes et les hommes [12]. Parmi les exemples les plus évidents d'effets différenciés des substances en fonction du sexe, chacun pense aux perturbateurs endocriniens et aux reprotoxiques. Les régulations hormonales endocrines sont étroitement liées au sexe et leur perturbation engendre des effets sur l'organisme, mais peut également entraîner des conséquences sur la descendance.

Il a ainsi été montré que l'exposition professionnelle aux endotoxines\* induisait des effets plus marqués chez les hommes que chez les femmes. Les auteurs ont émis, à l'issue de ces travaux, l'hypothèse que cette sensibilité accrue était sans doute le résultat d'un effet hormonal médié par les teneurs en testostérone ou en œstrogènes [13].

Le Bisphénol A est connu pour ses effets œstrogéniques, mais également pour ses effets anti-androgéniques, avec une action engendrant un dysfonctionnement de l'axe hypothalamo-hypophysaire [14]. Dans le cas de cette molécule, les effets chez l'animal de laboratoire entre mâle et femelle, mais aussi chez l'humain, sont différents du fait d'une activation de voies métaboliques différentes [15], mais aussi du fait de modifications épigénétiques\* qui, à terme, peuvent conduire à des complications lors de la mise en place du dimorphisme sexuel chez les individus à naître [16].

Des différences d'effets liés au sexe ont également été observées au niveau de l'expression et la régulation génique à la suite d'une exposition au cadmium ; l'exposition *in utero* au cadmium entraînant une modification des méthylations\* de l'ADN de gènes<sup>2</sup> différente entre filles et garçons [17]. Une revue de la littérature montre par ailleurs qu'il existe une surreprésentation des gènes associés au développement des organes, à la morphologie et à la minéralisation des os chez les femelles, et que l'exposition à des perturbateurs endocriniens a des conséquences fonctionnelles qui pourraient expliquer l'incidence accrue de réduction du poids à la naissance et du périmètre crânien chez les filles par rapport aux garçons [18].

© Patrick Delapierre pour l'INRS/2020



Entreprise de fabrication de bâches décorées.

## ENCADRÉ 2 QUEL SEXE ?

Homme – femme, mâle – femelle : voilà l'acception classique du sexe biologique. C'est d'ailleurs ainsi que les études expérimentales conventionnelles et les études épidémiologiques intègrent le sexe dans leurs travaux : le sexe sous deux formes, le sexe binaire. Cette dichotomie est basée sur les différences anatomiques et physiologiques de l'appareil reproducteur. Mais la réalité est loin d'être aussi simple : aux déterminations du sexe chromosomique, anatomique, hormonal..., s'ajoutent des variations fines au sein d'un même individu. Les niveaux d'hormones sexuelles chez un individu peuvent varier [30], le chromosome Y peut être perdu au cours du temps dans les cellules somatiques [31]. Il va sans dire qu'au-delà des implications sur le fonctionnement de l'organisme, toutes ces identités sexuelles variables ont des conséquences sociales et psychologiques.

Les travaux en biologie génétique dans ce domaine mettent en évidence toute la complexité qu'il peut y avoir aujourd'hui à définir le sexe d'un individu, comme le souligne par l'exemple l'article d'Ainsworth paru en 2015 dans la revue *Nature* [32]. Si aujourd'hui, on sait que finalement il n'y a pas que deux sexes, et que la notion de sexe devrait plutôt être envisagée sous une forme de spectre de variations, les travaux menés en santé au travail ne peuvent techniquement pas prendre en compte toutes ces modalités et s'en tiennent à la notion classique d'homme et de femme. Les modèles expérimentaux classiquement bornés entre mâle et femelle ne sont probablement également pas si binaires [33], mais ces aspects n'ont pas été étudiés. Sur cette base, les travaux en santé au travail seront toujours perfectibles et les résultats issus des études trouveront toujours des exceptions en plus ou moins grand nombre.



### Prise en compte du sexe

Comme cela est souligné dans les quelques exemples cités précédemment, tous les travaux qui ont abordé la question de l'influence du sexe dans la réponse des organismes à l'exposition aux substances exogènes, indiquent l'importance de prendre en compte ce paramètre dans la conduite des études. Cependant, en 2009, 20 % seulement des travaux de recherche en biologie, immunologie ou pharmacologie utilisaient des animaux des deux sexes [19].

En 2011, la publication d'une méta-analyse d'essais cliniques randomisés (médecine générale, oncologie, pathologies cardiovasculaires, maladies infectieuses), financés par le NIH (*National Institute of Health*, États-Unis d'Amérique), montrait que 75 % des études ne rapportaient pas les résultats selon le sexe [20]. Et en 2016, seulement 23 % des études dites « -omiques\* » en écotoxicologie avaient analysé la réponse des deux sexes à la suite d'une exposition à une substance toxique [21].

Force est de constater que la prise en compte de la variable « sexe » dans les travaux de recherche et la mise en œuvre de modes opératoires *ad hoc* restent marginales.

Cela tient pour partie à une prise de conscience relativement récente, qu'il est possible d'illustrer avec l'évolution des recommandations, mais également aux freins techniques, méthodologiques et économiques encore existants.

### Évolution des recommandations depuis 30 ans

Pendant de nombreuses années, la recherche sur les effets biologiques des substances a pris pour hypothèse que l'appartenance à un sexe ou l'autre n'était pas un facteur important à l'exception du cas des recherches liées à l'appareil reproducteur. Dans le cas des études épidémiologiques, le sexe peut être un facteur confondant qui doit être corrigé lors des analyses par un ajustement visant à « neutraliser » l'effet du sexe.

Concernant l'évaluation des médicaments, jusqu'en 1993, la FDA (dont le pouvoir prescripteur est fort au niveau international) recommandait que les femmes en âge de procréer soient exclues des phases\* I et II\* des essais cliniques, excepté pour les médicaments ciblant spécifiquement des pathologies féminines. Cette disposition a entraîné *de facto* une sous-représentation des femmes dans les essais cliniques. Ce n'est qu'avec le *NIH Revitalization Act : Women and minorities as subjects in clinical research* [22] et le nouveau guide de la FDA [23] de 1993 que la recommandation s'inversa, avec l'incitation à inclure l'autre sexe dans les recherches. Enfin, en 2016, le NIH – dont les décisions ont un retentissement international –, dans un amendement à sa politique et à ses lignes directrices, rendit obligatoire d'inclure les deux sexes dans les études et le

fait de considérer le sexe comme une variable biologique [24].

En 2013, la Commission européenne a publié un rapport soulignant la nécessité de considérer le sexe comme une variable importante à prendre en compte dans les recherches, qu'elles soient conduites chez l'animal ou *in vitro*, sur des cultures cellulaires [25].

Les lignes directrices internationales actuellement en vigueur, comme celles de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, mentionnent la nécessité de l'utilisation des deux sexes dans la conduite des recherches sur animaux [26]. Si l'évolution a été progressive, on peut considérer que, en 2024, tout incite à conduire les travaux sur les deux sexes et qu'il n'y a plus de contrainte ni théorique ni réglementaire. Pour autant, des freins subsistent.

### Les freins aux études prenant en compte le sexe

Du fait d'enjeux et de contraintes qui peuvent apparaître comme incompatibles, la prise en compte du sexe dans les recherches expérimentales, à visée fondamentale ou biomédicale, reste une difficulté. Et si aujourd'hui, il est reconnu que les différences physiologiques entre les sexes sont importantes, que les effets des substances exogènes peuvent être bien différents selon le sexe, chercher à les évaluer reste encore complexe.

Par exemple, le recrutement des deux sexes est parfois une gageure et il n'est pas rare que l'un des deux soit sous-représenté. Cette sous-représentation est souvent observée dans les études épidémiologiques ou de biosurveillance en milieu de travail, avec parfois l'un des deux sexes très peu représenté dans certains domaines d'activité. Aussi, les résultats de ces études s'en trouvent impactés.

D'autres limitations interviennent lorsqu'il s'agit de recherches expérimentales chez l'animal. Le coût économique que représente l'étude des deux sexes sur animaux est un frein qui, bien souvent, l'emporte sur la nécessité d'une telle démarche. L'ensemble des organismes de recherche étant malheureusement concerné par des contraintes budgétaires, cette tendance et cet état de fait limitent grandement le développement d'études comportant l'évaluation des effets sur les deux sexes.

Sans doute le cumul de la sous-représentation féminine dans les milieux professionnels concernés et le manque d'études sur modèle animal femelle est-il pour partie une des causes du retard pris dans la reconnaissance du cancer de l'ovaire comme maladie professionnelle consécutive à une exposition à l'amiante. En effet, ce type de cancer n'a été reconnu en France qu'en 2023 (tableau des maladies professionnelles n°30ter), alors que celui en lien avec les affections pulmonaires l'est depuis 1950.

La recherche de reproductibilité des effets observés conduit par ailleurs à vouloir s'assurer d'une maîtrise la plus complète possible des modèles animaux utilisés en recherche. Jusqu'à présent, les chercheurs ont développé et utilisé des modèles les plus standardisés possible, les moins sensibles aux variations individuelles. Ont ainsi été privilégiés les animaux consanguins, de préférence des mâles, partant du postulat que ces derniers étaient moins soumis à des variations hormonales que les femelles. Cette volonté d'asseoir les résultats sur des modèles homogènes, afin d'obtenir une puissance statistique suffisante, a été de fait un frein à l'expérimentation avec les deux sexes.

Enfin, depuis des décennies et de manière renforcée avec la directive 2010/63/UE, concernant l'utilisation de l'animal en recherche et la règle « des 3R » (remplacer, réduire, raffiner), les laboratoires ont cherché à limiter l'utilisation des animaux en recherche. Aussi, un certain nombre de tests expérimentaux sont réalisés *in vitro* avec des cultures de cellules, et il s'agit là d'un cas d'école des évolutions que la recherche doit encore accomplir pour mieux appréhender les différences sexuelles et affiner ses conclusions au regard du sexe utilisé. En effet, les tests *in vitro* de toxicologie expérimentale utilisés pour évaluer le danger des substances s'appuient sur des modèles cellulaires, des lignées cellulaires d'origine humaine ou d'autres espèces. Théoriquement un modèle idéal : un seul type cellulaire, le même patrimoine génétique, la même fonction, un modèle standardisé par excellence.

Cependant, dans le meilleur des cas, les données disponibles à l'origine sont souvent parcellaires : quelques données génétiques, un statut de sécurité pour la manipulation des cellules au regard des éventuelles contaminations bactériennes ou virales et, parfois, une identification du sexe de provenance (femme/homme ou mâle/femelle pour les animaux).

Ainsi, en 2013, sur 100 articles récents publiés dans la revue *AJP-Cell Physiology*, 75 ne mentionnaient pas le sexe des lignées cellulaires ou des animaux utilisés pour les travaux [27]. Cela revient à considérer que, dans la plupart des études réalisées *in vitro*, les lignées cellulaires utilisées sont « asexuées », alors qu'elles fournissent beaucoup de données sur les processus biologiques, les voies biochimiques ou l'expression génique, que l'on sait pourtant aujourd'hui liés au sexe.

Et quand, dans de rares cas, le sexe est connu, d'autres complications peuvent intervenir. Il y a souvent dans les laboratoires de recherche différentes lignées cellulaires qui cohabitent, et les contaminations croisées ne sont pas exceptionnelles. Un article paru en 2002 estimait ainsi qu'il existait au moins 300 souches différentes de cellules HeLa (cellules de cancer utérin), pourtant

issues d'une lignée unique à l'origine en 1951, et considérait par ailleurs que 20 % des lignées étaient faussement identifiées, du fait des contaminations croisées entre lignées cellulaires [28].

Il est également admis que certaines cellules peuvent perdre certaines de leurs caractéristiques liées au sexe au fil de leur emploi. En 2006, une étude menée sur 21 lignées cellulaires mâles montrait que 18 avaient perdu leur chromosome Y.

À titre d'exemple, les cellules CRL-2234 isolées d'un carcinome hépatique chez un homme voient certains des gènes portés par le chromosome Y ne plus être fonctionnels au fil des divisions cellulaires, du fait du « repiquage » des cellules pour les maintenir en prolifération [29].

Enfin subsiste un dernier écueil : à quelques exceptions près, les cellules sont cultivées dans des milieux contenant du sérum (bien que certains fabricants fournissent des milieux enrichis utilisables sans sérum, mais beaucoup plus chers). À moins qu'ils ne soient spécifiquement traités, ces sérums contiennent des stéroïdes sexuels. Quel est alors l'impact de ces stéroïdes sur les réponses cellulaires ?

Ces différents aspects sont plus ou moins connus et rarement pris en compte. Il convient néanmoins de noter qu'avec les milieux de culture enrichis mais dépourvus de sérum, et des cultures primaires de cellules (c'est-à-dire des cellules directement obtenues à partir de tissus et non immortalisées), ces limitations peuvent partiellement être levées,

Étudiants en école de chimie : classe de travaux pratiques.



© Gaël Kerbaol/INRS/2018



ANNEXE

\*GLOSSAIRE

**ADN** : Acide désoxyribonucléique, acide nucléique constitué de deux brins enroulés en double hélice, porteur de l'information génétique.

**ARN** : Acide ribonucléique, produit par la transcription de l'ADN.

**Chromosome** : Constitué d'une molécule d'ADN et de protéines (histones et protéines non histones). Correspond à une structure condensée de l'ADN caractéristique en une forme de X, de Y ou de bâtonnet.

**Endotoxines** : Les endotoxines sont des molécules complexes, composants de la paroi de certaines bactéries (Gram négatives). Ces molécules libérées lors de la multiplication ou de la destruction des bactéries persistent longtemps dans l'environnement et résistent à de nombreux agents chimiques ou physiques.

**Épigénétique** : Étude des changements dans l'utilisation des gènes, pouvant, pour certains, être propagés sur plusieurs générations, alors qu'il n'y a pas de modification de la séquence ADN.

**Méthylation de l'ADN** : Ajout d'un groupe méthyle (CH<sub>3</sub>) au niveau principalement des cytosines et adénines de l'ADN.

**Pharmacocinétique** : Étude du devenir d'un médicament dans l'organisme depuis son administration jusqu'à son élimination.

**Phase I** : L'essai clinique de phase I correspond à la première étape d'étude d'administration d'un médicament à l'Homme. On étudie son devenir dans l'organisme et évalue sa toxicité, sur un petit nombre de sujets volontaires (sains ou malades).

**Phase II** : L'essai clinique de phase II consiste à confirmer, en suivant le protocole déterminé en phase I, la tolérance et l'efficacité du médicament sur un nombre limité de malades.

**Protéine** : Macromolécule biologique formée d'une ou plusieurs chaînes polypeptidiques d'acides aminés.

**Protéomique** : Étude de l'ensemble des protéines d'un organisme, d'un tissu, d'une cellule.

**Omique** : « *Les approches omiques associent des technologies de chimie analytique, de biochimie et de biologie moléculaire aux sciences des données afin de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes biologiques* » (Institut des sciences du vivant Frédéric Joliot, 2020).

**Transcription** : Synthèse d'ARN (transcrit) à partir d'ADN.

**Transcriptomique** : Étude de l'ensemble des ARN messagers produits par transcription de l'ADN.

**Voie de signalisation** : Succession d'étapes impliquant plusieurs molécules dans une cellule ou à sa surface (récepteurs) qui fonctionnent ensemble pour contrôler les fonctions cellulaires (croissance, différenciation, mort...).

**Xénobiotique** : Se dit d'une molécule étrangère à un organisme vivant et considérée comme toxique.

au prix de difficultés de mise en œuvre plus importantes, d'un surcoût non négligeable et d'une variabilité augmentée.

**Conclusion**

Les différences entre sexes, et l'importance de leur intégration dans les travaux de recherche sont avérées. En la matière, les pratiques évoluent – certes très progressivement – et la variable « sexe » est de mieux en mieux prise en compte. Toutefois, il faut aussi reconnaître que la parfaite caractérisation des modèles utilisés, et donc leur maîtrise, sont encore à ce jour hors de portée, tant les paramètres à considérer sont nombreux.

Quand bien même les modèles expérimentaux seraient maîtrisés, ils doivent être uniformisés car la reproductibilité dans les expériences est nécessaire pour démontrer les effets des xénobiotiques. Las, la recherche en santé humaine l'a montré, aucun individu n'est « standard ». Le sexe que l'on « voit », le sexe phénotypique, n'est pas forcément aussi binaire que l'on pourrait le penser (Cf. Encadré 1) et la variabilité individuelle fait que chaque être humain est unique.

Cela pose donc une question de fond en recherche en santé au travail, et en toxicologie expérimentale en particulier. Quel modèle considérer pour mener les études ? Le plus sensible, le plus commun / représentatif ? Comment s'accommoder des inconnues nombreuses des modèles *in vitro* ? L'évaluation du danger des substances doit être réalisée, du point de vue des experts et des chercheurs, au regard du modèle le plus sensible, et la meilleure prise en compte du sexe représente une partie de la solution.

Mais cela engendre des travaux supplémentaires ; dans le cas d'expérimentation *in vivo* sur animaux, sans doute faut-il réaliser des pré-études sur les deux sexes pour évaluer les effets des substances et, compte tenu des contraintes économiques, ne sélectionner que le sexe le plus sensible pour la suite des travaux, à défaut de pouvoir conserver les deux.

Sans doute les modèles cellulaires doivent-ils être mieux caractérisés et suivis dans le temps. Toutes les questions soulevées ici ne remettent pas en cause les travaux menés jusqu'à présent, mais soulignent la nécessité de faire évoluer les pratiques dans la conception des futurs travaux



visant à évaluer les effets de certaines substances. Ces « petits pas » permettront d'affiner les conclusions qui ont pu être tirées des travaux précédents. Ces évolutions seront particulièrement importantes pour mieux appréhender les effets des expositions selon le sexe, car elles impacteront notamment la fixation des valeurs limites

d'exposition de demain pour une meilleure protection des travailleurs, hommes et femmes. ●

1. Les mots marqués d'un astérisque trouvent leur définition en annexe (glossaire, page précédente).

2. Voir : DARNE C. et al. – *Prospective : Les modifications épigénétiques : potentiels biomarqueurs d'effet d'une exposition professionnelle ?* Hygiène & sécurité du travail, 2024, 275, pp. 105-111. Accessible sur : [www.hst.fr](http://www.hst.fr)

## BIBLIOGRAPHIE

[1] HAUT CONSEIL A L'ÉGALITÉ ENTRE LES FEMMES ET LES HOMMES – *Prendre en compte le sexe et le genre pour mieux soigner : un enjeu de santé publique*. HCEFH, novembre 2020. Accessible sur : <https://www.haut-conseil-egalite.gouv.fr/sante-droits-sexuels-et-reproductifs/travaux-du-hce/article/prendre-en-compte-le-sexe-et-le-genre-pour-mieux-soigner-un-enjeu-de-sante>

[2] HAUTE AUTORITÉ DE SANTÉ – *Sexe, genre et santé. Rapport d'analyse prospective*. HAS, 2020. Accessible sur : [https://has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2020-12/rapport\\_analyse\\_prospective\\_2020.pdf](https://has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2020-12/rapport_analyse_prospective_2020.pdf)

[3] ANDERSON G.D. – Sex and racial differences in pharmacological response: where is the evidence? Pharmacogenetics, pharmacokinetics, and pharmacodynamics. *J Womens Health (Larchmt)*, 2005, 14 (1), pp. 19-29.

[4] GALARNEAU J.M. ET AL. – Urinary metals as a marker of exposure in men and women in the welding and electrical trades: a canadian cohort study. *Ann Work Expo Health*, 2022, 66 (9), pp. 1111-1121.

[5] LIANG X. ET AL. – Environmental toxicology and omics: A question of sex. *J Proteomics*, 2018, 172, pp. 152-164.

[6] ANDERSON G.D. – Sex differences in drug metabolism: cytochrome P-450 and uridine diphosphate glucuronosyltransferase. *J Gen Specif Med.*, 2002, 5 (1), pp. 25-33.

[7] YANG X. ET AL. – Tissue-specific expression and regulation of sexually dimorphic genes in mice. *Genome Res.*, 2006, 16, pp. 995-1004.

[8] CAREY J.L. ET AL. – Drugs and medical devices: adverse events and the impact on women's health. *Clin Ther.*, 2017, 39 (1), pp. 10-22.

[9] DE VRIES S.T. ET AL. – Sex differences in adverse drug reactions reported to the National Pharmacovigilance Centre in the Netherlands: an explorative observational study. *Br J Clin Pharmacol.*, 2019, 85 (7), pp. 1507-1515.

[10] DIMICH-WARD H. ET AL. – Occupational exposure influences on gender differences in respiratory health. *Lung*, 2012, 190 (2), pp. 147-154.

[11] RAY J.L. ET AL. – The role of sex in particle-induced inflammation and injury. *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol.*, 2020, 12 (2), e1589.

[12] ESPÍN-PÉREZ A. ET AL. – Identification of sex-specific transcriptome responses to polychlorinated biphenyls (PCBs). *Sci Rep.*, 2019, 9 (1), p. 746.

[13] LAI P.S. ET AL. – Gender differences in the effect of occupational endotoxin exposure on impaired lung function and death: the Shanghai textile worker study. *Occup Environ Med.*, 2014, 71 (2), pp. 118-125.

[14] COWELL W.J., WRIGHT R.J. – Sex-specific effects of combined exposure to chemical and non-chemical stressors on neuroendocrine development: a review of recent findings and putative mechanisms. *Curr Environ Health Rep.*, 2017, 4 (4), pp. 415-425.

[15] CAPOROSI L., PAPALEO B. – Exposure to bisphenol A and gender differences: from rodents to humans evidences and hypothesis about the health effects. *J Xenobiot.*, 2015, 5 (1), p. 5264.

[16] MC CABE C. ET AL. – Sexually dimorphic effects of early-life exposures to endocrine disruptors: sex-specific epigenetic reprogramming as a potential mechanism. *Curr Environ Health Rep.*, 2017, 4 (4), pp. 426-438.

[17] MOHANTY A.F. ET AL. – Infant sex-specific placental cadmium and DNA methylation associations. *Environ Res.*, 2015, 138, pp. 74-81.

[18] WALKER D.M., GORE A.C. – Epigenetic impacts of endocrine disruptors in the brain. *Front Neuroendocrinol.*, 2017, 44, pp. 1-26.

[19] BEERY A.K., ZUCKER I. – Sex bias in neuroscience and biomedical research. *Neurosci Biobehav Rev.*, 2011, 35 (3), pp. 565-572.

[20] GELLER S.E. ET AL. – Inclusion, analysis, and reporting of sex and race/ethnicity in clinical trials: have we made progress? *J Womens Health (Larchmt)*, 2011, 20 (3), pp. 315-320.

[21] BAHAMONDE P.A. ET AL. – Defining the role of omics in assessing ecosystem health: perspectives from the Canadian environmental monitoring program. *Environ Toxicol Chem.*, 2016, 35 (1), pp. 20-35.

[22] INSTITUTE OF MEDICINE (US) COMMITTEE ON ETHICAL AND LEGAL ISSUES RELATING TO THE INCLUSION OF WOMEN IN CLINICAL STUDIES/MASTROIANNI A.C., FADEN R., FEDERMAN D. (Eds.) – *Women and health research: ethical and legal issues of including Women in clinical studies: Volume I*. Washington (DC), National Academies Press (US), 1994, B – NIH Revitalization Act of 1993 Public Law No. 103-43.

[23] FOOD AND DRUG ADMINISTRATION – *Guideline for the study and evaluation of gender differences in the clinical evaluation of drugs – Notice*. Federal Register No. 58, 1993, pp. 39406-39416.

[24] NIH – *Amendment – NIH policy and guidelines on the inclusion of women and minorities as subjects in clinical research*. NOT-OD-18-014, 2017.

[25] EU – *How gender analysis contributes to research: Report of the expert group "Innovation through gender"*, 2013.

[26] OCDE – *Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques*. Accessible sur : [https://www.oecd-ilibrary.org/fr/environment/lignes-directrices-de-l-ocde-pour-les-essais-de-produits-chimiques\\_8c93a193-fr](https://www.oecd-ilibrary.org/fr/environment/lignes-directrices-de-l-ocde-pour-les-essais-de-produits-chimiques_8c93a193-fr)

[27] SHAH K. ET AL. – Do you know the sex of your cells? *Am J Physiol Cell Physiol.*, 2014, 306 (1), C3-18.

[28] MASTERS J.R. – HeLa cells 50 years on: the good, the bad and the ugly. *Nat Rev Cancer*, 2002, 2 (4), pp. 315-319.

[29] PARK S.J. ET AL. – Y chromosome loss and other genomic alterations in hepatocellular carcinoma cell lines analyzed by CGH and CGH array. *Cancer Genet Cytogenet.*, 2006, 166 (1), pp. 56-64.

[30] DUBOIS L.Z., SHATTUCK-HEIDORN H. – Challenging the binary: Gender/sex and the biologics of normalcy. *Am J Hum Biol.*, 2021, 33 (5), e23623.

[31] FUKAMI M., MIYADO M. – Mosaic loss of the Y chromosome and men's health. *Reprod Med Biol.*, 2022, 21 (1), e12445.

[32] AINSWORTH C. – Sex redefined. *Nature*, 2015, 518 (7539), pp. 288-291.

[33] ORTA A.H. ET AL. – Rats exhibit age-related mosaic loss of chromosome Y. *Commun Biol.*, 2021, 4 (1), pp. 14-18.

## Actualité juridique

# MÊME OCCASIONNEL, LE TRAVAIL DE NUIT DOIT ÊTRE JUSTIFIÉ

*Cour de cassation (chambre civile, chambre sociale) 7 février 2024, n° 22-18.940 et 22-21.385.  
Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)*

PÔLE  
INFORMATION  
JURIDIQUE  
INRS,  
département  
Études, veille  
et assistance  
documentaires

### Faits et procédure

Une salariée a été engagée en qualité d'employée de caisse par une société de vente de meubles. Après plusieurs contrats à durée déterminée, elle a signé un contrat à durée indéterminée à temps partiel, durant lequel il lui arrivait de travailler la nuit, de manière occasionnelle.

Licenciée quelque temps plus tard, elle a saisi la juridiction prud'homale pour contester et demander, entre autres, que soit constatée l'illégalité du recours au travail de nuit par l'employeur à son égard, et que ce dernier soit condamné à lui verser des dommages et intérêts en réparation du préjudice subi de ce chef.

### Décision de la cour d'appel

La cour d'appel a rejeté la demande d'indemnisation de la salariée en réparation du préjudice subi du fait du recours illégal à un travail de nuit, en s'appuyant sur trois arguments principaux :

1. La salariée ne répondait pas aux critères fixés par le Code du travail permettant d'être qualifiée de « travailleuse de nuit », ce qui la privait d'obtenir réparation. En effet, celle-ci n'accomplissait pas, selon ses horaires habituels :

- au moins deux fois par semaine, au moins 3 heures de son temps de travail quotidien entre 21 heures et 6 heures ;
- au moins 270 heures de travail entre 21 heures et 6 heures pendant une période de 12 mois consécutifs,

de sorte qu'elle ne pouvait prétendre au statut de travailleur de nuit.

2. De plus, elle avait bénéficié de la contrepartie accordée aux salariés amenés à travailler occasionnellement quelques heures par nuit, à savoir une majoration de salaire de 105 %.

3. Enfin, c'était elle qui avait souhaité expressément travailler en soirée jusqu'à 23 heures, afin que son planning soit compatible avec ses études.

### Décision de la Cour de cassation

La Cour de cassation casse et annule l'arrêt rendu par la cour d'appel. Pour les magistrats, le fait qu'une salariée n'ait pas le statut de travailleur de nuit, qu'elle ait perçu une contrepartie pour les heures de travail accomplies la nuit et qu'elle ait souhaité travailler en soirée ne suffit pas à écarter l'illégalité du recours par l'employeur au travail de nuit. Même dans un tel cas, les juges du fond doivent rechercher si ce recours était justifié par la nécessité d'assurer la continuité de l'activité économique ou des services d'utilité sociale, tel que le prévoit l'article L. 3122-1 du Code du travail.

Cet arrêt est l'occasion de revenir sur la mise en place du travail de nuit, sur les définitions du travail de nuit et du travail en soirée, ainsi que sur le statut de travailleur de nuit, lequel permet de bénéficier d'un certain nombre de mesures de prévention et compensation.

### Définition du travail de nuit

Conformément aux dispositions du Code du travail, le travail de nuit est défini par des bornes horaires, et notamment des bornes dites « d'ordre public<sup>1</sup> » impératives et non négociables. Ainsi, tout travail effectué au cours d'une période d'au moins 9 heures consécutives, comprenant l'intervalle entre minuit et 5 heures, est considéré comme du travail de nuit. La période de nuit commence au plus tôt à 21 heures et s'achève, au plus tard, à 7 heures.

Au sein de ces bornes impératives, la période de travail de nuit est définie par accord collectif<sup>2</sup>.

Un accord peut par exemple retenir comme période de travail de nuit celle de 21 h 30 à 6 h 30 ou de 22 h à 7 h ; les dispositions d'ordre public sont alors respectées.

En l'absence d'accord, toute heure travaillée entre 21 heures et 6 heures est à considérer comme du travail de nuit<sup>3</sup>.

Enfin, il convient de noter que :

- l'inspecteur du travail peut également autoriser la définition d'une période différente, lorsque les caractéristiques particulières de l'activité de l'entreprise le justifient, après consultation des délégués syndicaux et du comité social et économique (CSE)<sup>4</sup> ;
- pour certaines activités<sup>5</sup>, notamment de production rédactionnelle et industrielle de presse, ou encore de radio, des dispositions spécifiques sont prévues, selon lesquelles tout travail accompli entre minuit et 7 heures est considéré comme du travail de nuit.

## Définition du travailleur de nuit

La notion de travail de nuit est essentielle car elle permet de déterminer si le salarié peut être qualifié de « travailleur de nuit ».

En effet, pour être qualifié de travailleur de nuit, le salarié doit justifier d'une certaine fréquence de travail de nuit<sup>6</sup> :

- soit il accomplit, au moins 2 fois par semaine, selon son horaire de travail habituel, au moins 3 heures de travail de nuit quotidiennes ;
- soit il accomplit, au cours d'une période de référence, un nombre minimal d'heures de travail de nuit, dans les conditions prévues par la convention ou l'accord collectif étendu ou, à défaut, 270 heures de nuit sur une période de référence de 12 mois consécutifs<sup>7</sup>.

À défaut de remplir ces conditions, le travailleur n'est pas considéré comme un travailleur de nuit et ne peut donc bénéficier des garanties légales attachées à ce statut.

## Le caractère exceptionnel du travail de nuit

### Un principe d'ordre public

Selon les dispositions d'ordre public du Code du travail, le travail de nuit doit être exceptionnel. Le recours au travail de nuit doit prendre en compte les impératifs de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs. Il doit être justifié par la nécessité d'assurer la continuité de l'activité économique ou des services d'utilité sociale.

Il en résulte que le travail de nuit ne peut pas être le mode d'organisation normal du travail au sein d'une entreprise et ne doit être mis en œuvre que lorsqu'il est indispensable à son fonctionnement<sup>8</sup>. À cet égard, la jurisprudence constante rappelle régulièrement que le fait pour un employeur de recourir au travail de nuit en violation de ce texte constitue un trouble manifestement illicite.

C'est ainsi que la Cour de cassation a notamment énoncé que l'ouverture au public jusqu'à 22 heures d'un établissement de vente au détail, mettant à disposition de sa clientèle des biens et services :

- ne s'analysait pas en un service d'utilité sociale au sens de l'article L. 3122-1 du Code du travail ;

- n'était pas indispensable à l'activité économique de celle-ci.

Pour les magistrats, le recours au travail de nuit pour ce motif n'est donc pas justifié et constitue un trouble manifestement illicite<sup>9</sup>.

### Le caractère exceptionnel requis pour tout travail de nuit

Qu'il soit mis en place par accord collectif ou, à défaut, sur autorisation de l'inspection du travail, le caractère exceptionnel doit être démontré pour tout travail de nuit, et ce même pour les salariés ne pouvant être qualifiés de travailleurs de nuit compte tenu du nombre d'heures de faible ampleur de travail nocturne<sup>10</sup>.

**À noter :** Le Conseil constitutionnel a été saisi en 2014 par la Cour de cassation d'une question prioritaire de constitutionnalité (QPC) posée par une entreprise de vente de produits cosmétiques. Cette question était relative à la conformité du caractère exceptionnel du recours au travail de nuit ; conformité qui était contestée pour atteinte à la liberté d'entreprendre, constitutionnellement protégée.

Les arguments avancés étaient que le législateur n'avait pas défini avec suffisamment de précision les critères du recours au travail de nuit et qu'il avait, en réservant le travail de nuit aux seuls employeurs justifiant de la nécessité d'assurer la continuité de l'activité économique ou des services d'utilité sociale, méconnu la liberté d'entreprendre. Le Conseil a jugé « *qu'en prévoyant que le recours au travail de nuit est exceptionnel et doit être justifié par la nécessité d'assurer la continuité de l'activité économique ou des services d'utilité sociale, le législateur (...) a opéré une conciliation qui n'est pas manifestement déséquilibrée entre la liberté d'entreprendre* », et les exigences de santé et de sécurité des travailleurs. En définitive, le Conseil a jugé « *que les dispositions contestées, qui ne sont en tout état de cause pas entachées d'inintelligibilité, ne méconnaissent ni le droit pour chacun d'obtenir un emploi ni aucun autre droit ou liberté que la Constitution garantit*<sup>11</sup> ».

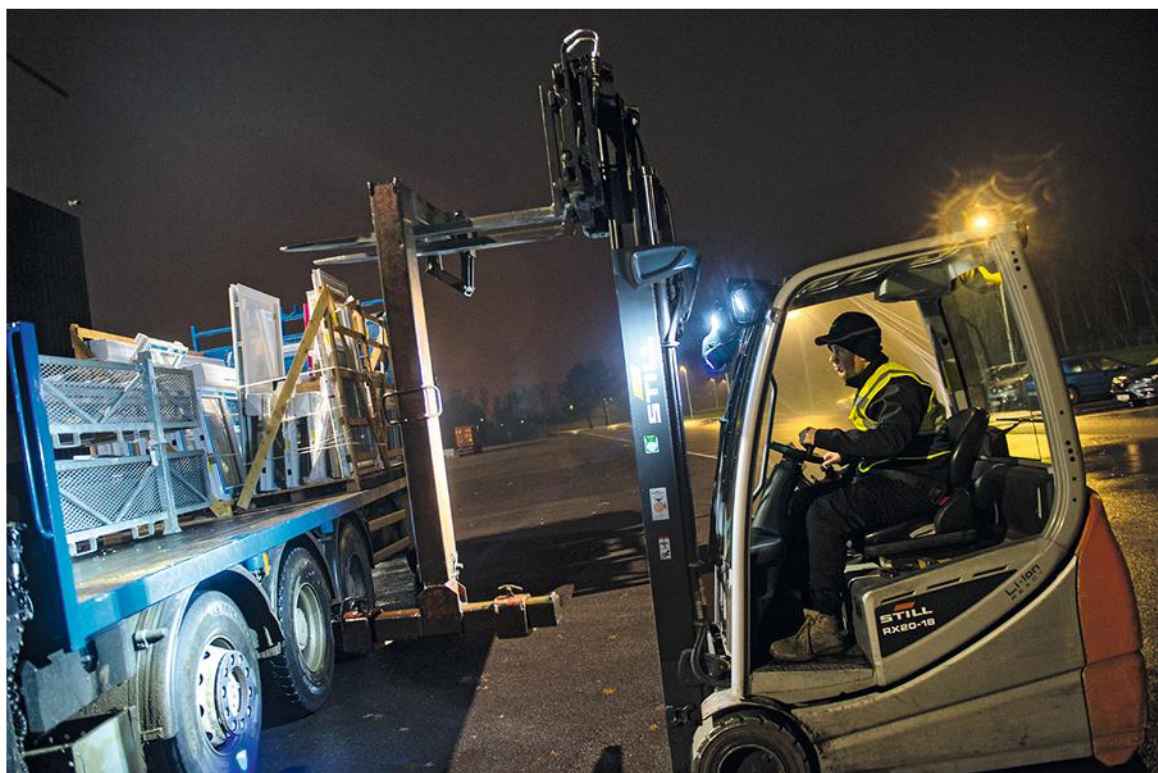
### Les critères justifiant

#### le recours exceptionnel au travail de nuit

Tel que le rappelle la jurisprudence constante, le travail de nuit doit rester exceptionnel et ne peut pas être le mode d'organisation normal du travail au sein d'une entreprise. Il ne doit être mis en œuvre que lorsqu'il est indispensable à son fonctionnement. C'est ainsi que les magistrats sont régulièrement amenés à s'interroger sur le caractère nécessaire du travail de nuit.

Ainsi, la Cour de cassation a notamment considéré que le recours au travail de nuit était justifié dans le cadre de la permanence d'accueil d'urgence humanitaire de la Croix-Rouge, sur le site d'un





© Fabrice Dimier pour l'INRS/2023

Selon le Code du travail, le travail de nuit doit rester exceptionnel.

aéroport, qui consiste en une « prise en charge continue des usagers<sup>12</sup> ».

À l'inverse, dans un arrêt du 24 septembre 2014, elle a estimé que le caractère indispensable et strictement nécessaire du travail de nuit n'était pas démontré pour une société de commerce de parfumerie, secteur où le travail de nuit n'est pas inhérent à l'activité. La société, qui était implantée sur les Champs-Élysées, ne démontrait pas qu'il était impossible d'envisager d'autre possibilité d'aménagement du temps de travail. Elle ne démontrait pas non plus que son activité économique supposait le recours au travail de nuit. Les difficultés de livraison en journée avancées ne nécessitaient pas pour autant que le magasin soit ouvert à la clientèle la nuit. Enfin, l'attractivité commerciale liée à l'ouverture de nuit du magasin des Champs-Élysées ne permettait pas de caractériser la nécessité d'assurer la continuité de l'activité en ouvrant jusqu'à minuit voire plus tard. Le caractère indispensable et strictement nécessaire du travail de nuit faisait donc bien défaut<sup>13</sup>.

Prenant acte des justifications invoquées par les entreprises de commerce, la loi n° 2015-990 du 6 août 2015 leur a ouvert la possibilité, lorsqu'elles sont situées dans certaines zones géographiques, de conclure des accords collectifs permettant la mise en place du travail en soirée.

### Le travail en soirée

Des dispositions spécifiques sont prévues par le Code du travail pour encadrer le travail en soirée.

Ainsi, conformément aux dispositions de l'article L. 3122-4, dans certains établissements, le début de la période de nuit peut être reporté jusqu'à minuit. Lorsqu'il est fixé au-delà de 22 heures, la période de nuit s'achève à 7 heures du matin.

En pratique, le travail en soirée recouvre la période allant de 21 heures à minuit au plus, ou en d'autres termes la période allant de 21 heures au début du travail de nuit.

Cette possibilité d'employer des salariés entre 21 heures et minuit est applicable uniquement aux établissements :

- de ventes au détail, mettant à dispositions des biens et services ;
  - situés dans les zones touristiques internationales ;
- À noter : ces zones, mentionnées à l'article L. 3132-24, sont délimitées par arrêtés ministériels, compte tenu de leur rayonnement international, de l'affluence exceptionnelle de touristes résidant hors de France et de l'importance de leurs achats.
- couverts par un accord collectif de branche, de groupe, d'entreprise, d'établissement ou territorial prévoyant cette faculté et prévoyant au bénéfice des salariés employés entre 21 heures et le début de la période de travail de nuit un certain nombre de garanties (mise à disposition d'un moyen de transport pris en charge par l'employeur qui permet au salarié de regagner son lieu de résidence ; mesures destinées à faciliter la conciliation entre la vie professionnelle et la vie personnelle des salariés et, en particulier,



les mesures de compensation des charges liées à la garde d'enfants ; fixation des conditions de prise en compte par l'employeur de l'évolution de la situation personnelle des salariés et, en particulier, de leur changement d'avis).

Concernant la rémunération et les mesures de compensation, chacune des heures de travail effectuée durant la période fixée entre 21 heures et le début de la période de travail de nuit doit être rémunérée au moins le double de la rémunération normalement due et donne lieu à un repos compensateur équivalent en temps.

Enfin, seuls les salariés volontaires ayant donné leur accord par écrit à leur employeur peuvent travailler entre 21 heures et minuit, étant précisé que le refus d'un salarié d'exercer son activité « en soirée » ne peut être pris en considération pour motiver un refus à l'embauche. Par ailleurs, le salarié qui refuse de travailler en soirée ne peut pas faire l'objet d'une mesure discriminatoire dans le cadre de l'exécution de son contrat de travail. Enfin le refus du salarié ne constitue pas une faute ou un motif de licenciement.

### Contreparties du travail de nuit

Le travailleur de nuit bénéficie de contreparties au titre des périodes de travail de nuit, sous forme de repos compensateur et, le cas échéant, sous forme de compensation salariale<sup>14</sup>. Seul le repos compensateur est obligatoire, la compensation salariale s'ajoute au repos compensateur mais ne peut pas se substituer à lui. Ce principe résulte de l'objectif premier des règles légales sur le travail de nuit qui est la protection de la santé des travailleurs de nuit. Cette préoccupation a incité le législateur à n'imposer comme seule contrepartie obligatoire au travail de nuit que celle relative aux repos compensateurs.

À noter : pour les activités de production rédactionnelle et industrielle de presse, de radio, de télévision, de production et d'exploitation cinématographiques, de spectacles vivants et de discothèques, lorsque la durée effective de travail de nuit est inférieure à la durée légale du travail, les contreparties ne sont pas obligatoirement données sous forme de repos compensateur<sup>15</sup>.

### Suivi individuel de l'état de santé des travailleurs de nuit

Le suivi de l'état de santé des travailleurs de nuit a notamment pour objet de permettre au médecin du travail d'apprécier les conséquences éventuelles du travail de nuit pour leur santé et leur sécurité, notamment du fait des modifications des rythmes chronobiologiques, et d'en appréhender les répercussions potentielles sur leur vie sociale. Le médecin du travail informe les salariés soumis au travail de nuit, plus particulièrement les femmes

enceintes et les travailleurs vieillissants, des incidences potentielles du travail de nuit sur la santé.

Les travailleurs de nuit bénéficient d'un suivi régulier renforcé de leur état de santé et en particulier d'une visite d'information et de prévention réalisée par un professionnel de santé du service de prévention et de santé au travail mentionné (médecin du travail ou bien, sous son autorité, le collaborateur médecin, l'interne en médecine du travail ou l'infirmier) préalablement à leur affectation à leur poste de travail<sup>16</sup>.

À l'issue de la visite, le salarié bénéficie de modalités de suivi adaptées, déterminées dans le cadre du protocole écrit élaboré par le médecin du travail, selon une périodicité qui n'excède pas une durée de trois ans<sup>17</sup>.

Outre ce suivi médical effectué par un membre de l'équipe pluridisciplinaire, le médecin du travail doit procéder à l'étude des conditions de travail et du poste de travail de nuit. Il doit analyser ensuite pour chaque travailleur de nuit le contenu du poste et ses contraintes. À partir des éléments ainsi recueillis, il conseille l'employeur sur les meilleures modalités d'organisation du travail de nuit en fonction du type d'activité des travailleurs<sup>18</sup>.

Le médecin du travail doit par ailleurs informer les travailleurs de nuit, en particulier les femmes enceintes et les travailleurs vieillissants, des incidences potentielles du travail de nuit sur la santé, en tenant compte de la spécificité des horaires, fixes ou alternés, et les conseiller sur les précautions éventuelles à prendre<sup>19</sup>.

Enfin, il convient de noter que le médecin du travail doit être informé par l'employeur de toute absence, pour cause de maladie, des travailleurs de nuit<sup>20</sup>. ●

1. Article L. 3122-2 du Code du travail.

2. Article L. 3122-15 du Code du travail.

3. Article L. 3122-20 du Code du travail.

4. Article L. 3122-22 du Code du travail.

5. Article L. 3122-3 du Code du travail.

6. Article L. 3122-5 du Code du travail.

7. Article L. 3122-23 du Code du travail.

8. Article L. 3122-1 du Code du travail.

9. Cour de cassation, chambre sociale, 30 septembre 2020, n° 18-24.130.

10. Cour de cassation, chambre criminelle, 2 septembre 2014, n° 13-83.304.

11. Conseil constitutionnel, 4 avril 2014, n° 2014-373 QPC.

12. Cour de cassation, chambre sociale, 8 novembre 2017, n° 16-15.584.

13. Cour de cassation, chambre sociale, 24 septembre 2014, n° 13-24.851.

14. Article L. 3122-8 du Code du travail.

15. Article L. 3122-9 du Code du travail.

16. Article R. 4624-18 du Code du travail

17. Articles R. 4624-17 et R. 4624-18 du Code du travail.

18. Article R. 3122-13 du Code du travail.

19. Article R. 3122-21 du Code du travail.

20. Article R. 3122-12 du Code du travail.

## Actualité juridique

# OBLIGATION D'ÉTABLIR UN PROTOCOLE DE SÉCURITÉ LORS DES OPÉRATIONS DE CHARGEMENT ET DE DÉCHARGEMENT

*Cour de cassation (chambre criminelle), 12 décembre 2023, pourvoi n° 22-84.854*

Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)

PÔLE  
INFORMATION  
JURIDIQUE  
INRS,  
département  
Études, veille  
et assistance  
documentaires

Lors d'une opération de chargement dans l'enceinte d'une entreprise utilisatrice, un salarié employé en qualité de chauffeur poids lourd par une société de transports est heurté par des sacs, ce qui a entraîné sa chute et la fracture de ses deux poignets.

Les deux sociétés (l'entreprise utilisatrice et l'entreprise extérieure) sont condamnées par le tribunal correctionnel puis par la cour d'appel pour avoir réalisé une opération de chargement sans respecter les règles relatives au protocole de sécurité.

**À noter :** Les opérations de chargement ou déchargement doivent faire l'objet d'un document écrit, appelé « protocole de sécurité », qui remplace le plan de prévention. Ce protocole comprend les informations utiles à l'évaluation des risques générés par l'opération ainsi que les mesures de prévention et de sécurité à observer à chacune des phases de sa réalisation.

Les juges du fond ont constaté qu'il était habituel que le chauffeur de la société de transports intervienne pour le chargement des marchandises dans son camion. Ils en ont déduit que les salariés de l'entreprise extérieure participent aux opérations de chargement, de sorte que la mise en œuvre préalable d'un protocole de sécurité s'imposait. Or, aucune des deux sociétés ne rapporte la preuve de l'existence de ce protocole.

L'entreprise utilisatrice a formé un pourvoi contre l'arrêt de la cour d'appel. Elle rappelait que l'obligation d'établir un protocole de sécurité s'applique aux opérations de chargement ou de déchargement réalisées par des entreprises extérieures

transportant des marchandises, en provenance ou à destination d'un lieu extérieur à l'enceinte de l'entreprise utilisatrice.

Or, cette dernière considérait qu'il n'est pas établi que la société de transports avait, en qualité d'entreprise extérieure, réalisé le chargement de marchandises au sein de l'entreprise utilisatrice et fait valoir les arguments suivants :

- la société de transports avait commandé le chargement de sa benne pour le compte d'une société tierce ;
- au cours des opérations de chargement, une personne (pouvant être le chauffeur du camion de la société de transports ou un autre salarié de l'entreprise) devait nécessairement descendre dans la benne pour ouvrir les sacs.

La Cour de cassation ne retient pas ces arguments et approuve l'arrêt de la cour d'appel. Elle fait application des articles R. 4515-1 et suivants du Code du travail, applicables aux opérations de chargement et de déchargement.

Elle rappelle l'obligation d'établir un protocole de sécurité, dès lors que le salarié d'une société de transports concourt habituellement, dans l'enceinte d'une autre société, au chargement dans son camion, de marchandises qu'il transporte vers un autre site. ●

### POUR EN SAVOIR +

- Retrouvez l'ensemble des publications juridiques de l'INRS sur : <https://www.inrs.fr/publications/juridique.html>

# Participez à la recherche



## Risques biologiques

### → Exposition professionnelle aux mycotoxines et effets sur la santé

## Votre entreprise...

- utilise des produits potentiellement contaminés par des champignons microscopiques : céréales, épices, fruits à coques, fruits et légumes (cueillette, stockage, déstockage), café, thé...

**L'INRS a besoin de vous** pour participer à une étude épidémiologique afin d'évaluer les expositions professionnelles à différentes toxines produites par ces champignons (on parle de mycotoxines<sup>1</sup>) et d'analyser leurs effets potentiels sur la santé.

### > Quels sont les objectifs de cette étude ?

Sur une campagne de trois jours en entreprise, il s'agit de collecter trois types de données et de faire le lien entre elles :

- les expositions atmosphériques à sept mycotoxines, aux poussières, aux moisissures et à d'autres agents biologiques et chimiques ;
- l'imprégnation des travailleurs déterminée par la mesure de différentes substances indicatrices d'une exposition dans le sang, l'urine et sur les mains ;
- les effets sur la santé à partir de la recherche d'éventuels symptômes respiratoires et cutanés, ainsi que de différents dosages biologiques.

### > Comment se déroulera l'étude ?

Les campagnes de prélèvement, assurées par une équipe de l'INRS, se dérouleront sur les trois premiers jours de la semaine de travail après deux jours de repos.

Les travailleurs qui donneront leur consentement répondront à des questionnaires sur leurs activités professionnelles, leurs symptômes respiratoires et cutanés, et sur leur mode de vie. Des recueils d'urine et de condensat d'air exhalé seront effectués, ainsi qu'une unique prise de sang et un prélèvement de cellules buccales (par passage d'une brosse à dents sur l'intérieur des joues).

Ils seront par ailleurs équipés d'appareils individuels de mesures atmosphériques au cours des deux premiers jours. Des essuyages des mains par lingettes seront également réalisés.

Les résultats des prélèvements atmosphériques seront restitués à chaque entreprise et des conseils de prévention pourront être donnés. Le nom des entreprises et des participants volontaires sont strictement confidentiels.

L'équipe de l'INRS est disponible pour vous présenter le détail de cette étude et discuter des modalités pratiques.

1. Voir : Fiche INRS ED 4411 – Mycotoxines en milieu de travail.  
Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS-ED%204411>



## Vous souhaitez participer ?

Contactez Valérie Demange : 03 80 50 98 05  
[valerie.demange@inrs.fr](mailto:valerie.demange@inrs.fr)  
ou Ève Bourgard : 03 83 50 21 65  
[eve.bourgard@inrs.fr](mailto:eve.bourgard@inrs.fr)

INRS, département Épidémiologie en entreprise  
Rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

## Focus normalisation

# DISPARITÉS DE GENRE EN SANTÉ ET SÉCURITÉ : COMMENT LES FEMMES SAPEURS-POMPIERS SONT DÉFAVORISÉES EN MATIÈRE DE VÊTEMENTS DE PROTECTION

CARSTEN SCHIFFER, ALEXANDER MERTENS  
Université d'Aix-la-Chapelle (Allemagne)

Les équipements portés par les sapeurs-pompiers sont surtout adaptés à la morphologie masculine. Or, les informations qui permettraient de concevoir des équipements adaptés au sexe de l'utilisateur font souvent défaut. De plus, les données anthropométriques utilisées sont souvent obsolètes.

**GENDER GAP IN OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH: HOW PPE DISADVANTAGES WOMEN FIREFIGHTERS – A Technology used by firefighters has traditionally been geared primarily to dimensions of the male body. Design guidelines often lack consideration for the female body. Furthermore, the anthropometric data used as a reference for design is often obsolete.**

**KAN Brief**  
Kommunikation Arbeitsschutz Normung

Cet article est issu du bulletin d'information KAN Brief n° 2/24 (consultable sur : [www.kan.de/fr](http://www.kan.de/fr)) de la Commission Arbeitsschutz und Normung (KAN). The English version of this article is accessible at [www.kan.de/en](http://www.kan.de/en)

Les équipements techniques destinés aux utilisateurs finaux – hommes et femmes – le sont le plus souvent (du moins implicitement) à des utilisateurs masculins. Cela tient notamment au fait que les paramètres qui servent d'hypothèse pour la conception et les essais de nombreux produits sont ceux d'un homme « standard » (soit une taille de 1,75 m et un poids de 79 kg selon la norme DIN 33402-2<sup>1</sup>, voire un poids de seulement 75 kg dans de nombreuses normes).

La prise de conscience de ces disparités entre femmes et hommes a pris de l'ampleur ces dernières années. Ainsi, l'Organisation internationale de normalisation (Iso) travaille sur un projet de norme visant à vérifier que toutes les normes applicables respectent l'égalité entre les femmes et les hommes, et à les adapter si nécessaire<sup>2</sup>. Souvent obsolètes, les mesures anthropométriques employées jusqu'à présent sont actuellement remises en question.

Dans une étude de 2024 réalisée à la demande de la Commission européenne<sup>3</sup>, 2650 normes euro-

péennes harmonisées relatives à la sécurité et à la santé au travail ont été examinées, l'objectif étant de déterminer si des données anthropométriques étaient prises en compte et, si oui, dans quelle mesure. Cette étude montre que les données anthropométriques présentent un intérêt dans 36 % de ces normes, mais que, souvent, elles ne sont pas suffisamment prises en compte, ou bien sont obsolètes. Dans 76 normes, les effets potentiels de l'absence de prise en compte des données anthropométriques sur la sécurité et la santé sont considérés comme non négligeables. Dans certains cas, les normes harmonisées contiennent également des données anthropométriques actualisées, mais ces dernières ne concernent souvent que les hommes.

### Sécurité et disparités entre les femmes et les hommes sapeurs-pompiers en matière de vêtements de protection

L'exemple des vêtements de protection des femmes sapeurs-pompiers illustre les conséquences que peuvent avoir des équipements lorsqu'ils ne sont





© RWTH AIX-la-Chapelle

↑ FIGURE 1 Comparaison, par sexe, des tenues des sapeurs-pompiers (caserne d'Aix-la-Chapelle).

pas conçus pour le corps féminin. Dans le cadre d'une étude basée sur des entretiens<sup>4</sup>, plus de 1700 femmes et hommes sapeurs-pompiers ont été interrogés, notamment sur le confort et le bon ajustement de leurs vêtements de protection individuelle. Ainsi, les femmes sapeurs-pompiers interrogées estiment être moins bien protégées que leurs collègues masculins : les vêtements leur vont moins bien car, par exemple, les vestes ne ferment pas au niveau des hanches, les pantalons sont trop larges à la taille, trop serrés aux jambes ou, d'une manière générale, trop longs (Cf. Figure 1). Une autre étude avait pour objet l'analyse des déclarations d'accidents dont ont été victimes des sapeurs-pompiers volontaires<sup>5</sup>. Cette étude montre que les femmes sapeurs-pompiers sont exposées à un risque d'accidents deux fois plus élevé (205,7%) que les hommes (Cf. Figure 2), et que les accidents dont elles sont victimes sont plus

graves. Cela tient, du moins en partie, à des tenues de service et des outils de travail peu adaptés aux femmes<sup>6</sup>. L'une des raisons de ce faible niveau de protection réside dans le fait que les tenues des sapeurs-pompiers sont conçues en premier lieu pour la majorité des personnes qui seront amenées à les porter, à savoir des hommes, bien que la législation et les normes imposent une confection adaptée à un large éventail d'utilisateurs. Ainsi, les normes techniques définissent uniquement les exigences de performance en matière de protection ; elles ne donnent pas d'indications de mesures. C'est aux fabricants qu'incombe la responsabilité de prendre en compte à la fois les femmes et les hommes au stade de la conception des vêtements. C'est également ce qui découle des exigences en matière de liberté de mouvement et de confort énoncées dans la norme EN Iso 13688<sup>7</sup>.



← FIGURE 2 Accidents selon le genre des membres du corps de sapeurs-pompiers volontaires (source : <https://www.feuerwehrverband.de/presse/statistik>).



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2016

Parallèlement, en Allemagne, les spécifications de fabrication et de contrôle des vêtements de protection pour sapeurs-pompiers (HuPF)<sup>8</sup>, adoptées par la conférence des ministres de l'Intérieur des *Länder*<sup>9</sup>, contiennent des mesures considérées comme des normes minimales à respecter – destinées toutefois presque exclusivement aux hommes. Les fabricants peuvent, certes, prendre certaines libertés en la matière, mais ils ont la responsabilité de veiller à ce que la sécurité soit toujours garantie. La réglementation HuPF impose l'application de la norme européenne EN 469<sup>10</sup>, ce qui présente à la fois des avantages et des inconvénients. En effet, les vêtements de protection pour sapeurs-pompiers sont des produits avec une qualité minimale garantie et des caractéristiques standardisées faciles à comparer entre elles lors de l'achat. Cependant, il s'agit également de produits très réglementés, qui ne peuvent être développés qu'à grands frais, comprenant des risques (en particulier commerciaux, pour les entreprises productrices).

### Créer les conditions pour davantage de flexibilité

Les fabricants sont en droit de supposer que, s'ils appliquent la norme harmonisée, ils respectent les exigences essentielles de la législation européenne applicable à la conception d'un produit. Or, si les exigences énoncées dans les normes harmonisées sont incomplètes voire obsolètes – par exemple, parce que les mensurations des mannequins utilisés pour les essais de vêtements de protection

contre la chaleur et les flammes<sup>11</sup> (1 810 ± 60 mm) sont plutôt masculines que féminines – les fabricants risquent de concevoir des produits certes conformes aux normes en vigueur, mais potentiellement dangereux pour les utilisateurs.

Il est indispensable que les paramètres variables, notamment les mesures anthropométriques, soient tenus à jour dans les normes et les règlements.

Si les mensurations sont prescrites explicitement, les mensurations féminines doivent également être précisées dans les exigences. Les écarts éventuellement autorisés doivent également être indiqués clairement. Cela permettra aux fabricants de développer des techniques novatrices, et aux utilisateurs de mieux évaluer les offres disponibles sur le marché et d'opter pour des produits adéquats, modernes et adaptés à un large éventail d'utilisateurs. Il sera également beaucoup plus facile pour les employeurs de remplir leur obligation de fournir des équipements de protection individuelle (EPI) adaptés à chaque salarié. ●

1. Voir : Norme DIN 33402-2 – Ergonomie. Dimensions du corps de l'homme. Partie 2 : Valeurs. Accessible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/din-334022/ergonomie-dimensions-du-corps-de-lhomme-partie-2-valeurs/eu167974/262516> (site payant).

2. Voir : Norme Iso 53800 – Lignes directrices relatives à la promotion et à la mise en œuvre de l'égalité entre les femmes et les hommes et à l'« empowerment » des femmes. Accessible sur : <https://www.iso.org/fr/standard/84591.html> (site payant).

3. Voir : <https://op.europa.eu/fr/publication-detail/-/publication/1712e683-b4ec-11ee-b164-01aa75ed71a1> [en anglais].

4. Voir : <https://publications.rwth-aachen.de/record/836706> [en allemand].

5. Voir : <https://publications.rwth-aachen.de/record/951605> [en allemand].

6. Voir : <https://publications.rwth-aachen.de/record/983315> [en allemand].

7. Voir : NF EN Iso 13688 – Vêtements de protection. Exigences générales. Accessible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-13688/vetements-de-protection-exigences-generales/fa159842/1393>

8. Voir : Conférence des ministres de l'Intérieur – Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerweherschutzbekleidung. Parties 1 à 4, 2020 [en allemand].

9. Les Länder sont des entités fédérales disposant de leur propre gouvernement, dotés d'une autonomie dans des domaines spécifiques [ndlr].

10. Voir : Norme NF EN 469 – Habillement de protection pour sapeurs-pompiers. Exigences de performance pour les vêtements de protection pour la lutte contre l'incendie. Accessible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-469/habillement-de-protection-pour-sapeurspompiers-exigences-de-performance-pou/fa187185/261224> (site payant).

11. Voir : NF EN ISO 13506-1 – Vêtements de protection contre la chaleur et les flammes. Partie 1 : Méthode d'essai pour vêtements complets – Mesurage de l'énergie transférée à l'aide d'un mannequin instrumenté.



# Participez à la recherche



## Risque machine

### → Quels usages numériques avec les machines industrielles et quelles pratiques de cybersécurité ?

#### Votre entreprise...

- Utilise des machines industrielles : machines-outils, installations automatisées, lignes d'assemblage, presses, machines d'emballage... Ces machines peuvent être connectées, reliées à des réseaux informatiques internes ou externes. En cas d'acte malveillant, vous risquez un arrêt de production, des dommages matériels, voire un accident du travail.

#### L'INRS mène actuellement une étude pour aider les entreprises

à prendre en compte le « risque cyber » en milieu industriel et son impact pour la santé et sécurité des travailleurs.

#### L'INRS a besoin de votre participation à cette étude

pour recueillir par questionnaire des informations sur les usages que vous faites du numérique avec vos machines, vos pratiques en matière de cybersécurité et votre perception sur le risque de cyberattaque et ses conséquences sur les machines et les travailleurs. Le recueil de ces informations aidera l'INRS à construire une méthode d'analyse de « risque cyber » pour les machines, à des fins de prévention des risques professionnels.

#### > Comment se déroulera l'étude ?

En fonction du profil professionnel du répondant (production et HSE, maintenance – travaux neufs ou informatique), un questionnaire au format électronique, adapté à chaque profil, sera à renseigner. Le questionnaire est prévu pour être spécifique à une machine. Si plusieurs machines sont disponibles dans l'entreprise, un questionnaire pourra être rempli pour chaque machine. Les questionnaires sont anonymes (entreprise et répondant non identifiés) et les réponses, confidentielles. Le temps de remplissage d'un questionnaire est estimé à 15 minutes environ.

## Vous souhaitez participer ?



L'accès au questionnaire se fait en ligne sur un site sécurisé. Pour y accéder, scannez ce QR-code ou rendez-vous sur :

<https://manager-enquetes.inrs.fr/SurveyServer/s/cpi/CyberSecuriteMachines/Machines.htm>

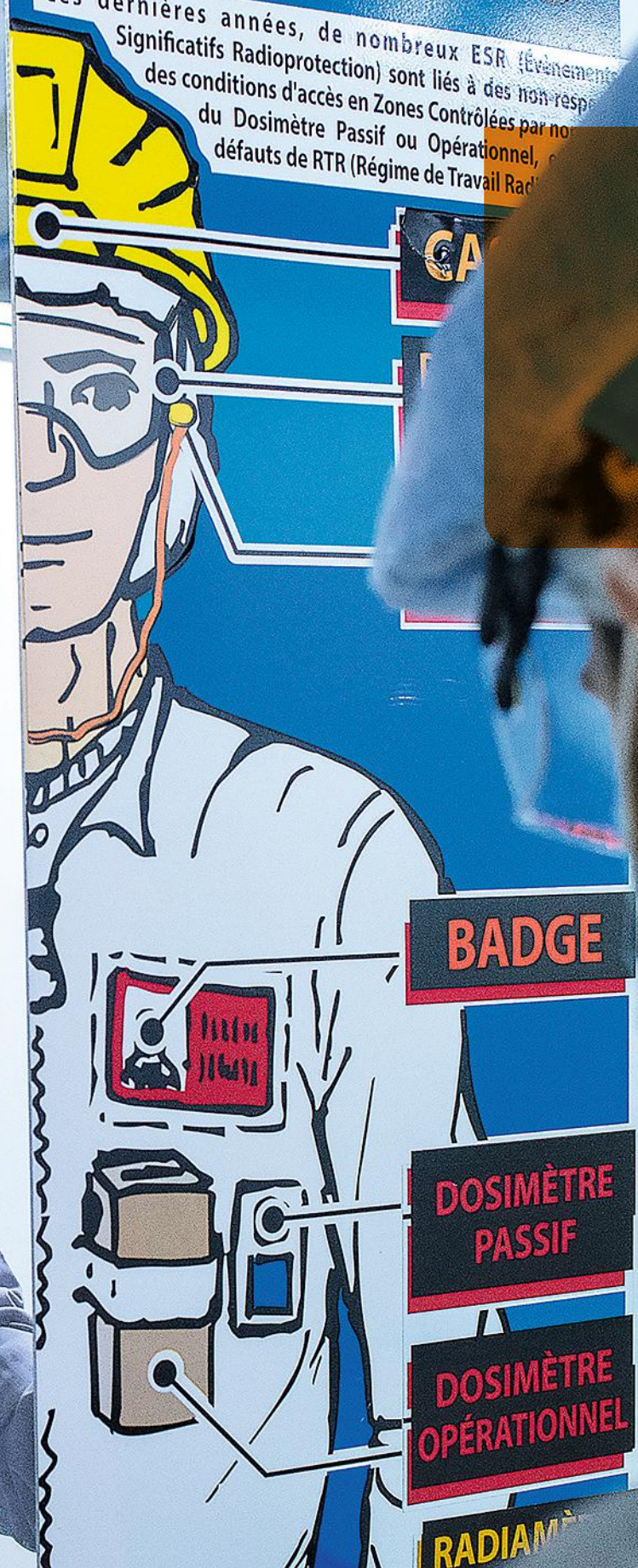
Les retours des questionnaires sont attendus pour le  
**31 octobre 2024 au plus tard.**

Pour toute question, contacter Pascal Lamy,  
département Ingénierie des équipements de travail,  
03 83 50 98 25 • [pascal.lamy@inrs.fr](mailto:pascal.lamy@inrs.fr)



# ...AS TOUT ?

Ces dernières années, de nombreux ESR (Événements Significatifs Radioprotection) sont liés à des non-respect des conditions d'accès en Zones Contrôlées par non-usage du Dosimètre Passif ou Opérationnel, ou à des défauts de RTR (Régime de Travail Rad)



**BADGE**

**DOSIMÈTRE PASSIF**

**DOSIMÈTRE OPÉRATIONNEL**

**RADIAMÈTRE**



## Dossier

# ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE : LE DERNIER REMPART CONTRE LES RISQUES

❶ Les EPI, fonctionnalités et caractéristiques dédiées à la protection des travailleurs

P. 24

❷ La conception et l'utilisation des EPI : approche réglementaire

P. 26

❸ Comment travailler à l'acceptation des EPI en tenant compte de la représentation et de la perception des risques ?

P. 29

❹ Les EPI contre les chutes de hauteur

P. 32

❺ Comparaison des essais normatifs concernant les équipements de protection individuelle et les dispositifs médicaux

P. 36

❻ Protection respiratoire : un nouveau dispositif pour l'habilitation des opérateurs d'essais d'ajustement

P. 44

❼ Les exosquelettes sont-ils des EPI ?

P. 47

Afin de réduire les effets du travail sur la santé du travailleur, la prévention des risques professionnels s'appuie sur l'évaluation des risques. Au cours de cette démarche, l'employeur analyse chaque situation de travail. Pour chacune d'elles, il identifie les moyens de protection (collectifs ou individuels) en adéquation avec cette analyse afin de préserver la santé et la sécurité de ses salariés. Selon les principes généraux de prévention, la protection collective est toujours à privilégier. Cependant, elle peut être difficile, voire impossible à mettre en œuvre selon les situations de travail.

Le recours à la protection individuelle devient alors indispensable.

Plusieurs familles d'équipements de protection individuelle (EPI) existent. Certaines d'entre elles sont évoquées dans ce dossier, qui aborde également les questions d'acceptation des protections par les travailleurs. Un focus est également proposé sur la place d'un nouveau dispositif d'assistance physique : l'exosquelette, en posant une question légitime : fait-il partie ou non de la famille des EPI ?

## PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT: THE FINAL BARRIER PROTECTING AGAINST RISKS –

*To reduce the effects of work on workers' health, prevention of occupational risks relies on risk assessment. As part of this approach, the employer analyses each working situation and identifies the appropriate protective measures (collective or individual) to implement to preserve workers' health and safety. According to the general principles of prevention, collective protection should always be preferred. However, it can be difficult or even impossible to implement in some working situations. In these cases, personal protection becomes indispensable. Several types of personal protective equipment (PPE) are available. Some are evoked in this dossier, which also addresses the questions of acceptability of the protections by the workers. Light is also shed on the place of new physical assistance devices – exoskeletons – by asking a key question: can they be considered PPE?*

# LES EPI, FONCTIONNALITÉS ET CARACTÉRISTIQUES DÉDIÉES À LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS

Un équipement de protection individuelle (EPI) est un moyen de protection pour la personne qui le porte ou le tient, face à un ou plusieurs risques. Il existe de nombreux EPI avec des fonctions bien précises ; les règles relatives à leur conception et à leur utilisation sont d'ailleurs clairement définies par le Code du travail. Cet article introductif propose un rappel des principes qui régissent leur utilisation.

VALÉRIE GENEVÈS  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

L'équipement de protection individuelle (EPI) est un équipement conçu et fabriqué pour être porté ou tenu par une personne, en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques pour sa santé ou sa sécurité. Il est utilisé de longue date pour se protéger, dans le cadre des activités professionnelles, sportives ou privées. Dans le cadre du travail, sa mise à disposition fait suite à l'évaluation des risques professionnels, effectuée par l'employeur en application des principes généraux de prévention. Ce moyen de protection est à envisager lorsque la protection collective est insuffisante ou techniquement impossible à mettre en œuvre. Positionné comme le dernier recours contre les risques professionnels dans la démarche de prévention, l'EPI n'en demeure pas moins un équipement très utilisé. La vente d'EPI est en croissance régulière, dépassant à ce jour le milliard d'euros en France. Elle couvre les huit familles d'EPI (Cf. Figure 1). La part de marché la plus importante (près d'un tiers) est détenue par le vêtement de protection, suivie par les gants (un quart) et les articles chaussants (un cinquième).

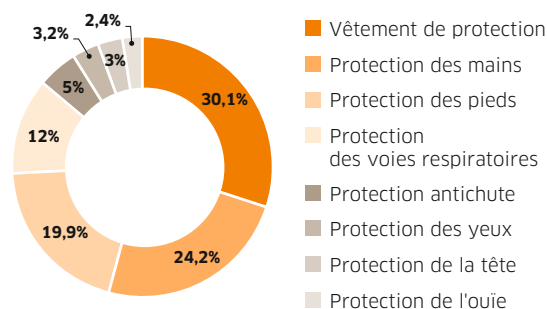
## Contexte réglementaire

Avant la mise sur le marché, la démarche de conception de l'EPI est encadrée réglementairement et normativement et elle permet de définir les niveaux de performance des équipements ainsi que le cadre de leur certification. Ces exigences sont définies au niveau européen, ce qui permet la commercialisation et la libre circulation des EPI dans toute l'Union européenne. Après acquisition de l'EPI par une entreprise, la phase de mise à disposition et d'utilisation des EPI est également réglementée.

Un article du dossier détaille l'ensemble des textes applicables à chacune des étapes de la vie d'un EPI (Cf. Article « La conception et l'utilisation des EPI : approche réglementaire » p. 26).

## Vigilance dans le choix

Suivant les situations de travail et les résultats de l'évaluation des risques, plusieurs types d'EPI peuvent être envisagés pour protéger le salarié. Le panel d'EPI disponibles peut alors rendre difficile le choix du protecteur, notamment pour les EPI constitués de plusieurs composants, associés entre eux par l'utilisateur. Cela peut être par exemple le cas pour les EPI contre les chutes de hauteur, avec différents principes de protection de la personne en fonction de l'équipement utilisé, sujet qui sera développé dans un article de ce dossier (Cf. Article « Les EPI contre les chutes de hauteur » p. 32), illustrant la nécessité de bien respecter les instructions d'utilisation pour



↑ FIGURE 1  
Étude du marché français des EPI en 2009 (source : Synamap).

obtenir une protection efficace. De plus, dans certains cas, l'utilisation simultanée de plusieurs EPI peut être nécessaire pour protéger le salarié. Une vigilance sera alors portée sur la compatibilité entre ces EPI, un assemblage ne devant pas créer de gêne pour l'utilisateur.

## Offre en constante évolution

Le domaine de la protection individuelle connaît une évolution constante, notamment sur différents points :

- les fonctionnalités des équipements, notamment avec les systèmes de protection « intelligents » ;
- l'adaptation des exigences normatives selon la prise en compte de situations particulières, par exemple l'utilisation de systèmes d'arrêt de chutes dans une ambiance ou un environnement à des températures négatives ;
- l'adaptation de l'équipement à la morphologie du porteur.

Sur ce dernier point, pour la protection respiratoire, des essais d'ajustements ont été introduits, dans l'objectif de garantir le niveau de protection le plus élevé possible. Ces essais font l'objet d'un article *via* la présentation d'un nouveau dispositif d'habilitation des opérateurs d'essais d'ajustement (Cf. Article « Protection respiratoire : un nouveau dispositif pour l'habilitation des opérateurs d'essais d'ajustement » p. 44).

Parmi les évolutions, de nouveaux dispositifs arrivent sur le marché avec pour objectif de soulager le porteur, notamment en réduisant les contraintes posturales (action sur les troubles musculosquelettiques : TMS). Les exosquelettes en sont un exemple de plus en plus répandu. Mais sont-ils pour autant à considérer comme des EPI ? Un article du dossier apporte des éléments de réponse à cette question (Cf. Article « Les exosquelettes sont-ils des EPI ? » p. 47).

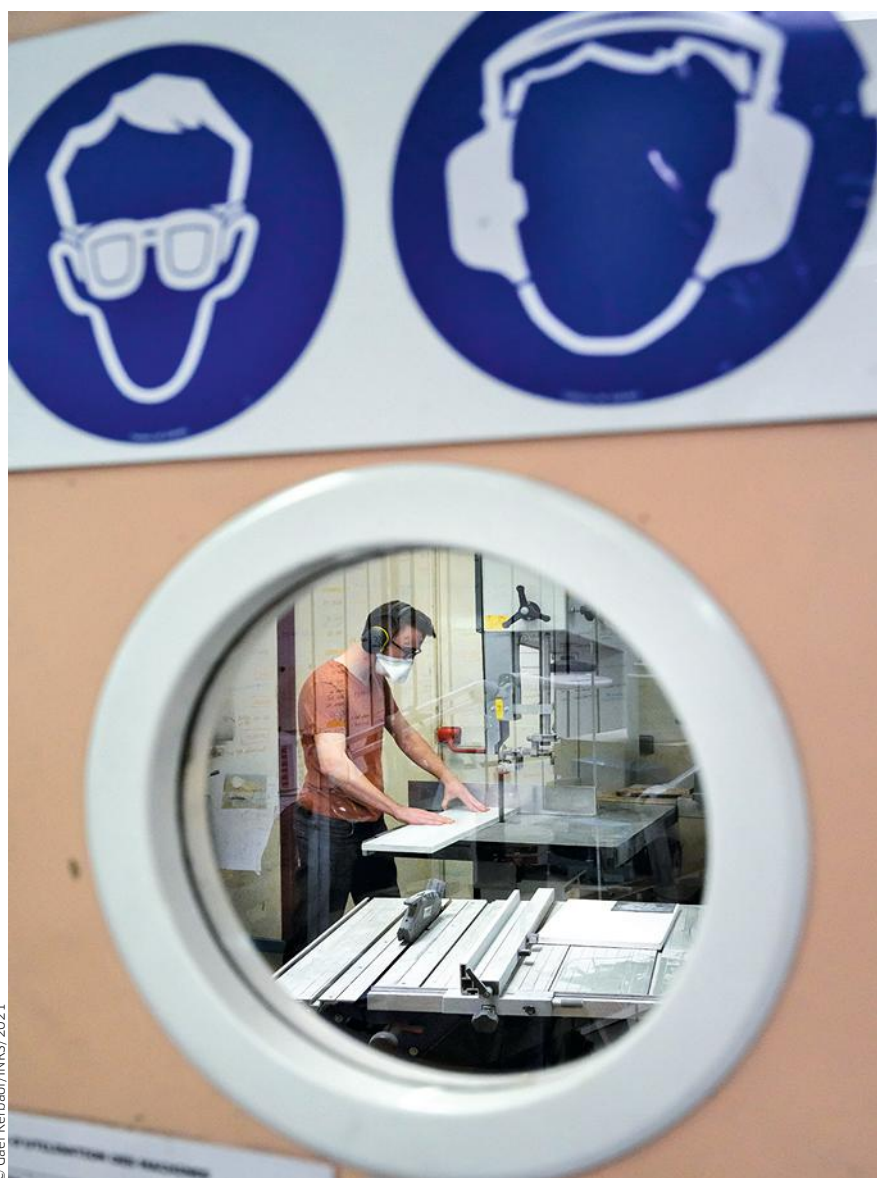
## Combinaisons de réglementations face à des risques pluriels

Par ailleurs, l'EPI peut être amené à se conformer à plusieurs réglementations simultanément.

Il peut par exemple s'agir de certains équipements pouvant répondre aux exigences des dispositifs médicaux (DM) et, parallèlement, aux exigences des EPI. Un article du dossier détaille, pour les gants, les vêtements et les masques, les exigences normatives correspondant à chacune de ces réglementations (Cf. Article « Comparaison des essais normatifs concernant les EPI et les dispositifs médicaux » p. 36).

## Obligations de formation, d'information et d'adaptation

Après avoir sélectionné et mis à disposition l'EPI pour le salarié, l'employeur doit organiser systé-



matiquement une formation à son utilisation et à son port. Ce volet est essentiel et plusieurs évolutions, notamment pour la protection contre la chute de hauteur, ont d'ailleurs permis la définition d'un niveau de compétence requis pour l'utilisateur de l'équipement.

L'ensemble du dispositif réglementaire et normatif permet de s'assurer de la performance de l'équipement, de son adéquation à une situation de travail, de sa mise à disposition et de la formation de l'utilisateur. Mais faut-il encore que l'équipement soit utilisé et porté correctement. Sur ce point, la question de l'acceptation des EPI par les porteurs est capitale pour garantir cette utilisation au quotidien. Un article fait le point sur cette question en proposant une méthode afin de faciliter cette acceptation (Cf. Article « Comment travailler à l'acceptation des EPI en tenant compte de la représentation et de la perception des risques ? » p. 29). ●

Signalétique sur le port obligatoire d'EPI dans un atelier.



# LA CONCEPTION ET L'UTILISATION DES EPI : APPROCHE RÉGLEMENTAIRE

Depuis plus de 30 ans, les textes européens ont posé les principes de la réglementation applicable à la conception et l'utilisation des EPI. Des directives européennes ont ainsi été adoptées et transposées en droit français et codifiées en grande partie dans le Code du travail. Concernant la conception, un règlement adopté en 2016 est venu adapter certaines des exigences relatives à la mise à disposition sur le marché des EPI. Ces règles de conception et d'utilisation ont notamment pour objectif final d'assurer un niveau de protection élevé pour la santé et la sécurité des utilisateurs<sup>1</sup>. Cet article fait le point sur ces dispositions réglementaires.

---

ANNIE  
CHAPOUTHIER  
INRS,  
département  
Études, veille  
et assistance  
documentaires

---

## Obligations applicables lors de la conception et de la mise sur le marché des EPI

Concernant la conception des EPI, la directive 89/686/CEE<sup>2</sup> avait été adoptée afin d'harmoniser les exigences en matière de santé et de sécurité des personnes applicables aux EPI dans l'Union européenne et de supprimer les obstacles au commerce des EPI entre les États membres. En énonçant uniquement les exigences essentielles applicables à la conception des EPI et en renvoyant les détails techniques aux normes harmonisées, cette directive s'est inscrite dans le cadre de la « nouvelle approche » en matière d'harmonisation technique et de normalisation. Un EPI répondant aux normes harmonisées, dont les références ont été publiées au *Journal officiel de l'Union européenne (JOUE)*, est présumé conforme aux exigences essentielles de santé et de sécurité<sup>3</sup> (EESS) applicables à l'EPI considéré et couvertes par ces normes.

Cette directive a été abrogée et remplacée par le règlement européen (UE) 2016/425 du 9 mars 2016<sup>4</sup>. Ce texte, applicable intégralement et directement depuis le 21 avril 2018 dans chaque État membre, n'a pas nécessité de transposition en droit français<sup>5</sup>. Ce règlement classe les EPI en trois catégories :

- catégorie I : pour les risques mineurs ;
- catégorie III : pour les risques qui peuvent avoir des conséquences très graves comme la mort ou des dommages irréversibles pour la santé (l'utilisateur ne pouvant pas déceler à temps les effets immédiats) ;
- catégorie II : pour tous les autres EPI non classés en catégories I ou III.

À chacune de ces catégories sont associés des contrôles internes de la production par le fabricant et/ou des examens UE de type, réalisés par des organismes notifiés (ON) avant la mise à disposition sur le marché des EPI.

Après avoir défini les EPI et leur champ d'application, ce règlement définit les exigences applicables aux opérateurs économiques concernés<sup>6</sup> (fabricants, mandataires, importateurs, distributeurs) lors de leur conception, de leur fabrication et de leur commercialisation au sein de l'Union européenne.

Lors de la mise sur le marché, le fabricant<sup>7</sup> :

- s'assure que l'EPI a été conçu et fabriqué conformément aux EESS ;
- établit la documentation technique<sup>8</sup> ;
- met en place la procédure d'évaluation de la conformité<sup>9</sup> ;
- établit la déclaration de conformité<sup>10</sup> ;
- appose le marquage CE indiquant la conformité de l'EPI<sup>11</sup> ;
- veille à ce que l'EPI soit accompagné de la notice d'instructions et informations<sup>12</sup>.

Les importateurs et les distributeurs ont l'obligation de veiller à ce que l'EPI soit conforme aux dispositions du règlement européen<sup>13</sup>.

Le règlement européen prévoit également des dispositions spécifiques relatives à la surveillance du marché européen et au contrôle des EPI entrant sur le marché de l'Union européenne<sup>14</sup>.

Le règlement n'impose pas d'obligations aux utilisateurs mais il précise que si les États membres conservent le droit d'adopter des dispositions nationales supplémentaires concernant l'uti-

lisation des EPI, ces exigences ne doivent pas affecter la conception des EPI mis sur le marché, conformément aux dispositions dudit règlement, ni leur libre circulation<sup>15</sup>.

La réglementation relative à la conception des EPI concerne principalement le fabricant, celle relative à l'utilisation vise à la fois l'employeur et le travailleur et génère des obligations pour l'un et l'autre. Pour rappel, un travailleur est une personne susceptible de travailler sous l'autorité d'un employeur, qu'il soit salarié de l'entreprise, travailleur intérimaire ou stagiaire.

### Obligations relatives à l'utilisation des EPI

Dans certaines situations de travail, le recours à la protection individuelle peut s'imposer lorsque l'exposition au risque ne peut être évitée et lorsque la mise en œuvre de dispositifs de protection collective est impossible ou insuffisante.

La réglementation française relative à l'utilisation des EPI par des travailleurs est également issue de la transposition d'une directive européenne<sup>16</sup>. Les règles générales figurent dans le Code du travail<sup>17</sup>. Elles peuvent être complétées et adaptées par des dispositions spécifiques en cas d'exposition à certains risques (biologiques, chimiques, rayonnements...).

### Les obligations de l'employeur concernant la mise à disposition et le port des EPI

L'employeur a, tout d'abord, l'obligation de se procurer et de mettre gratuitement à la disposition de ses salariés des EPI conformes aux règles techniques de conception mentionnées précédemment. Afin de définir l'EPI le plus approprié, il convient de mener une réflexion à partir de l'analyse des risques de la situation de travail (activité et environnement de travail) en impliquant les travailleurs concernés, les instances représentatives du personnel lorsqu'elles existent et le service de prévention et de santé au travail le cas échéant. Les critères suivants seront notamment pris en compte :

- les caractéristiques et performances de l'EPI ;
- l'ergonomie de l'EPI (essais, possibilité d'ajustement...);
- la compatibilité avec d'autres EPI ;
- la morphologie du travailleur (taille, genre..).

Il appartient également à l'employeur de veiller au port effectif des EPI et de s'assurer de leur maintien en état de conformité, en adaptant le cas échéant la nature et la fréquence des vérifications compte tenu de leurs conditions d'utilisation et des préconisations du fabricant.

Les travailleurs sont informés sur :

- les risques contre lesquels l'EPI les protège ;

Opératrice équipée de gants et d'un masque de protection au cours d'une formation interne au risque électrique.



© Fabrice Dimier pour l'INRS/2021







© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2023

Opératrice équipée de casque anti-bruit et de gants dans un site de production de salades en sachet.

- les conditions de mise à disposition et d'utilisation (stockage, entretien, nettoyage, vérification avant utilisation...);
- les consignes concernant l'obligation de porter les EPI.

Une formation des travailleurs, comportant en tant que de besoin un entraînement au port des EPI, sera mise en place et renouvelée aussi souvent que nécessaire, notamment pour les EPI complexes tels que les appareils de protection respiratoire ou les systèmes d'arrêt de chute.

### Les obligations du travailleur concernant le port des EPI

Parallèlement aux obligations de l'employeur concernant la mise à disposition des EPI, les travailleurs peuvent voir leur responsabilité contractuelle engagée s'ils refusent de porter les EPI ou s'abstiennent de respecter les instructions de l'employeur portant sur les conditions d'utilisation des EPI.

En vertu de l'obligation de sécurité qui lui incombe concernant la santé et la sécurité de ses salariés, l'employeur peut ainsi être amené à prendre des mesures disciplinaires pouvant aller jusqu'au licenciement en cas de non-respect des instructions relatives au port des EPI. ●

1. Le règlement ne concerne pas que les EPI à usage professionnel, mais également les EPI destinés aux activités domestiques, de loisirs et sportives. La notion d'« utilisateur » mentionné dans le texte vise le travailleur, mais également le consommateur.

2. Directive 89/686/CEE du Conseil du 21 décembre 1989, concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux équipements de protection individuelle. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31989L0686>

3. Exigences aujourd'hui mentionnées à l'annexe II du règlement (UE) 2016/425.

4. Règlement (UE) 2016/425 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2016, relatif aux équipements de protection individuelle et abrogeant la directive 89/686/CEE du Conseil. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0425>

5. À l'exception de certains articles en grande partie consacrés aux organismes et procédures de notification, Des dispositions transitoires concernant notamment la mise sur le marché ont également été prévues.

6. Définitions des opérateurs économiques : article 3 du règlement.

7. Article 8 du règlement.

8. Annexe III du règlement.

9. Article 19 du règlement.

10. Article 15 du règlement.

11. Article 16 du règlement.

12. Annexe II du règlement point 1.4.

13. Articles 10 et 11 du règlement.

14. Articles 37 à 41 du règlement.

15. Article 6 du règlement.

16. Directive 89/656/CEE du Conseil du 30 novembre 1989 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé pour l'utilisation par les travailleurs au travail d'équipements de protection individuelle (troisième directive particulière au sens de l'article 16 paragraphe 1 de la directive 89/391/CEE). Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31989L0656>

17. Notamment les articles R. 4323-91 à R. 4323-106 du Code du travail.

## POUR EN SAVOIR +

• INRS – Dossier Web – *Protection Individuelle*. 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/demarche/protection-individuelle/ce-qu-il-faut-retenir.html>

• THIERBACH M. – EPI : le nouveau règlement européen est publié. KAN-Brief, 2016, n° 2/16. Également publié par l'INRS : *Hygiène & sécurité du travail*, septembre 2016, 244, NO 14, pp. 18-19. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NO%2014>

• INRS – *Les équipements de protection individuelle (EPI). Règles d'utilisation*. ED 6077. 2013. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206077>

• CHAPOUTHIER A. – Utilisation des équipements de protection individuelle : des obligations pour l'employeur et le travailleur. *Travail & sécurité*, Droit en pratique, mars 2019, 803, pp. 43-46. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TS803page44>

# COMMENT TRAVAILLER À L'ACCEPTATION DES EPI EN TENANT COMPTE DE LA REPRÉSENTATION ET DE LA PERCEPTION DES RISQUES ?

En matière d'EPI, un des rôles des préventeurs est d'accompagner l'employeur et les salariés dans les choix techniques, l'établissement des règles d'usage et leur mise en œuvre, par exemple à travers la formation. Des travaux de l'INRS ont montré l'importance pour la prévention d'intégrer dans les démarches de déploiement des équipements, quels qu'ils soient, les questions de leur acceptation par les salariés, et de la perception par les salariés des risques auxquels ils sont confrontés.

---

MIREILLE  
LAPOIRE-  
CHASSET,  
LIËN  
WIOLAND  
INRS,  
département  
Homme  
au travail

---

## De l'acceptation à l'adoption

L'acceptation d'un EPI, et plus globalement son adoption dans la durée, est déterminée par plusieurs facteurs. Il est possible de citer en premier l'utilité de l'équipement perçue par les salariés, sa facilité d'utilisation, et l'organisation de l'entreprise mise en place pour soutenir et accompagner le déploiement de l'usage de l'EPI. Si ces éléments ne sont pas positifs, voire s'ils sont vécus (ou perçus) comme des contraintes supplémentaires par le salarié, celui-ci aura tendance à les rejeter ou à les utiliser incorrectement.

Les affects qui correspondent aux réactions émotionnelles et aux attitudes des salariés face à l'équipement participent également à l'acceptation des EPI. L'influence sociale et l'identité professionnelle sont aussi déterminantes. En effet, les salariés s'inscrivent le plus souvent dans un environnement social (collectif de collègues, encadrement ou direction) qui, au travers des normes subjectives présentes dans les situations de travail ou la pression sociale, va les influencer dans leurs choix de porter/d'utiliser ou non l'équipement. Ainsi, un environnement social défavorable à l'équipement peut également constituer un point bloquant à son acceptation. Il est donc important d'impliquer l'ensemble de cet environnement dans cette démarche.

Par ailleurs, le travail est considéré par la plupart des actifs comme un des éléments majeurs per-

mettant de définir son identité. Dans certaines professions, les équipements font partie intégrante de l'identité professionnelle, voire même constituent un signe de reconnaissance. Dans le cas où un nouvel équipement serait proposé, il pourrait venir percuter l'identité et l'image que le salarié a de lui-même et qu'il renvoie aux autres. Les affects, lorsqu'ils sont positifs, contribuent eux aussi à une meilleure acceptation. Typiquement, pendant la pandémie de Covid-19, les masques roses proposés aux agents de police italiens ont provoqué un rejet, tandis que les masques bleus ont été acceptés. En bleu, les masques ne heurtaient pas les affects des agents. Ils pouvaient aussi participer de leur identité professionnelle, car en les portant les agents renvoyaient une image de la police à la fois protectrice et respectueuse des normes de sécurité.

## Vers une meilleure perception des risques

Les facteurs de l'acceptation d'un EPI sont en interaction avec la perception des risques par les salariés mais aussi avec la représentation qu'ils élaborent du danger et des moyens de s'en protéger [1]. En effet, si les salariés ne perçoivent pas les risques auxquels ils sont exposés, il n'y aura pas de sens pour eux à porter un EPI. La perception et la représentation de leur propre vulnérabilité face aux risques, de leur gravité ou de leur probabilité d'occurrence fondent ainsi leur niveau d'enga-

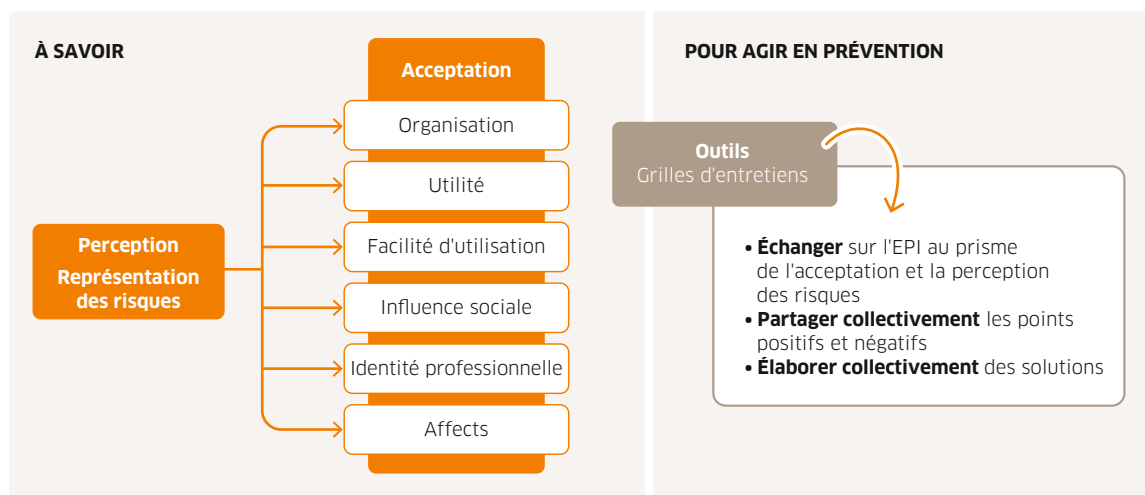


gement dans des comportements de sécurité [2]. Il apparaît que ces perceptions et représentations sont multiples et entrent fréquemment en contradiction les unes avec les autres. Il arrive qu'elles suscitent un rejet des équipements. Les observations faites au cours d'études, l'une sur l'acceptation des exosquelettes, l'autre sur les activités de santé au travail en entreprise, montrent que,

pour travailler sur l'acceptation des équipements, il est fréquent que les préventeurs engagent avec les salariés des discussions sur leurs perceptions et représentations des risques. Par exemple, face à ceux qui refusent de porter des protecteurs individuels contre le bruit (PICB) dans des zones exposées, il a été observé, au cours de plusieurs enquêtes menées par l'INRS, que les échanges por-

↓ **TABLEAU 1**  
Grille d'entretien  
à destination  
des préventeurs.

DIMENSIONS	OBJECTIFS	ILLUSTRATIONS DES SUJETS À ABORDER (LISTE NON EXHAUSTIVE)
<b>Perception et représentation</b>	Parler de son activité lors de la phase d'acceptation pour élaborer des représentations plus claires des problèmes et des moyens pour y faire face.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quels sont les changements de perception de la situation de travail ?</li> <li>• Est-ce que ce sont les mêmes pour tous ?</li> <li>• Quelles initiatives ont été élaborées pour y faire face ?</li> <li>• Est-ce que ces solutions peuvent également bénéficier à d'autres ?</li> <li>• Y a-t-il une organisation collective à mettre en place ?</li> </ul>
<b>Dimension organisationnelle</b>	Instaurer des échanges sur le programme de sensibilisation au port du nouvel EPI et de suivi du personnel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quelles sont les situations pour lesquelles il faut éviter d'enlever le nouvel EPI ?</li> <li>• Quels sont les espaces où le nouvel EPI est obligatoire et ceux qui ne l'exigent pas ?</li> <li>• Est-ce que cela convient ou faudrait-il faire des aménagements pour être en sécurité ?</li> <li>• Comment gérer le nouvel EPI au moment des pauses ? Les pauses peuvent-elles se faire dans des conditions sanitaires appropriées ?</li> <li>• Où ôter le nouvel EPI après utilisation ?</li> <li>• Où et comment le stocker ? Si besoin, où le jeter, où et comment le stocker avant de le faire nettoyer ?</li> <li>• Est-ce que les éléments de sensibilisation sont suffisants ?</li> <li>• Est-ce que des documents/informations ou formations supplémentaires sont nécessaires ?</li> </ul>
<b>Dimension utilité</b>	Échanger et partager les connaissances avec chacun sur l'efficacité du nouvel EPI.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quelle est la fonction du nouvel EPI ?</li> <li>• À quelles conditions pensez-vous que le nouvel EPI est plus efficace ?</li> </ul>
<b>Dimension utilisabilité</b>	Discuter autour de l'utilisabilité et trouver des solutions appropriées en s'appuyant sur les expériences des collègues.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quels sont les avantages et les inconvénients des différents EPI testés ?</li> <li>• Sont-ils gênants à porter ?</li> <li>• Est-ce que les inconvénients sont supportables ?</li> <li>• Arrivez-vous à travailler avec et pendant combien de temps ?</li> <li>• Arrivez-vous à communiquer avec ?</li> <li>• Est-ce que vous avez essayé de développer avec vos interlocuteurs des nouveaux codes pour pouvoir échanger ? Et est-ce efficace ?</li> </ul>
<b>Dimension affects</b>	Discuter sur les aspects de satisfaction et de rejet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le nouvel EPI est-il satisfaisant ?</li> <li>• Est-il agréable à porter ?</li> <li>• Est-ce que vous voudriez en changer ?</li> </ul>
<b>Dimension influence sociale</b>	Élaborer collectivement une représentation commune de la norme sociale du port du nouvel EPI.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Est-ce qu'il y a des remarques négatives ou positives sur le fait de porter le nouvel EPI ?</li> <li>• Est-ce que ces remarques ont une influence sur la difficulté perçue à porter le nouvel EPI ? Ou au contraire cela encourage-t-il à le porter ?</li> <li>• Existe-t-il des solutions pour faire accepter à son environnement le port du nouvel EPI ?</li> <li>• Auriez-vous besoin d'une forme d'appui de la part de l'encadrement ou un support de communication pour soutenir votre initiative ? (consulter le site INRS pour voir les offres : <a href="http://www.inrs.fr">www.inrs.fr</a>).</li> </ul>
<b>Dimension identité professionnelle</b>	Discuter autour de l'identité professionnelle, pour bien comprendre les conséquences sur l'exercice du métier et finir d'élaborer des moyens de faire face ensemble.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En quoi le port du nouvel EPI a-t-il impacté négativement le métier ? (difficulté à s'exprimer, difficulté à entendre, jugements négatifs perçus...)</li> <li>• En quoi a-t-il révélé certaines forces du métier ? (l'attention portée aux autres, l'attention portée à l'activité, l'attention portée à soi, la créativité pour contourner les contraintes matérielles du nouvel EPI et pour faire face à l'adversité...).</li> </ul>



← FIGURE 1  
Schéma des principaux éléments à retenir.

taient sur la gêne occasionnée, sur l'inconfort ou les difficultés engendrées pour entendre les bruits nécessaires à la réalisation de leurs tâches. Des questions sur l'épuisement dû au bruit ou sur la perte auditive éventuelle étaient soulevées, afin de mieux comprendre les problématiques. La pertinence de ces échanges réside dans le fait qu'il devient alors possible de partager collectivement les points positifs et négatifs des équipements concernés et également de rechercher collectivement des solutions opérationnelles. Par exemple, quand face à un salarié équipé de bouchons jetables, mal positionnés, le préventeur peut l'inviter à couvrir ses oreilles avec ses mains pour l'amener à constater que son PICB laisse passer le bruit. Il peut engager ainsi le salarié à remettre en question sa perception du problème et à reconsidérer son jugement sur l'utilité de son équipement et son usage.

### Un guide d'entretien pour vérifier l'adaptation

Un outil a été mis à disposition des préventeurs de l'entreprise lorsqu'une question se pose sur l'acceptation d'un nouvel EPI. Cet outil prend la forme d'une grille d'entretien (Cf. Tableau 1) qui aborde toutes les dimensions de l'acceptation et propose, pour chacune d'elles, des questions à aborder avec les personnes concernées. La grille permet d'être le plus exhaustif possible sur les sujets abordés. Il en existe une déclinaison dédiée spécifiquement aux masques de protection [3]. Cette grille aide à structurer les échanges qui peuvent être animés par un volontaire de l'entreprise et se dérouler de façon individuelle ou collective, avec le personnel. Ces échanges peuvent se dérouler au moment de l'intégration de l'EPI et ainsi permettre de faciliter et de valider les choix techniques et les règles d'usage de ce dernier. D'autres échanges peuvent également avoir lieu après l'intégration de l'EPI qui permettent de s'assurer que l'action mise en

place est toujours performante, quelles que soient les évolutions de la situation de travail. Un schéma synthétique des principaux éléments à retenir est présenté Figure 1. ●

Réunion organisée par une entreprise faisant appel à des intérimaires sur un chantier de construction.



© Claude Almodovar pour l'INRS/2023

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] GUMASING M.J.J., ET AL. – Factors influencing the perceived usability of wearable chair exoskeleton with market segmentation: a structural equation modeling and K-means clustering approach. *International journal of industrial ergonomics*, 2023, 93, p. 103401. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103401>
- [2] KOUABENAN D.R. – Beliefs and the perception of risks and accidents. *Risk analysis*, 1998, 18 (3), pp. 243-252. Accessible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1998.tb01291.x>
- [3] WIOLAND L., LAPOIRE-CHASSET M., CHAZELET S. – Porter un masque alternatif au travail : comprendre pour en favoriser l'acceptation. *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 259, pp. 17-21.

# LES EPI CONTRE LES CHUTES DE HAUTEUR

À ce jour, il n'existe pas de définition réglementaire de la chute de hauteur. Par exclusion, sont classées dans cette catégorie les chutes qui ne sont ni des chutes de plain-pied, ni des chutes dans les escaliers. Il s'agit donc de l'ensemble des chutes subies par des travailleurs qui se trouvent en position élevée ou qui sont situés en bordure d'une dénivellation. Cet article détaille les mesures à prendre et les équipements à utiliser pour prévenir les risques de chutes de hauteur.

---

THIERRY  
HANOTEL  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

---

## Réglementation

L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs, en se fondant sur les neuf principes généraux de prévention énoncés à l'article L. 4121-2 du Code du travail. Lorsqu'une tâche présente un risque de chute de hauteur, il convient donc en priorité d'analyser la situation de travail et de vérifier si tous les aménagements ont été envisagés pour supprimer l'accès en hauteur.

Lorsque des travaux temporaires en hauteur ne peuvent être évités, les principes généraux de prévention ont fait l'objet d'une déclinaison spécifique dans les articles R. 4323-58 à R. 4323-90 du Code du travail, complétés par la circulaire DRT 2005-08 du 27 juin 2005<sup>1</sup>, qui précise que :

- les travaux temporaires en hauteur doivent en priorité être effectués à partir d'un plan de travail permanent muni de dispositifs de protection collective contre les chutes de hauteur, comme une plate-forme avec escalier d'accès et garde-corps ;
- à défaut, il est nécessaire de privilégier le recours à des équipements de travail qui assurent une protection collective contre les chutes, tels qu'une plate-forme élévatrice mobile de personnel (PEMP), une plate-forme individuelle roulante (PIR), une plate-forme individuelle roulante légère (PIRL), ou un échafaudage roulant ou fixe... ;
- ce n'est que lorsque l'utilisation de tels équipements est techniquement impossible que le recours à des EPI peut être envisagé.

Pour sa part, le fabricant qui conçoit et fabrique des EPI contre les chutes de hauteur doit respecter les règles techniques du Règlement (UE) 2016/425 du Parlement européen et du Conseil. Ces EPI protègent contre des risques qui peuvent avoir des

conséquences très graves pour le travailleur. Ils font donc partie de la catégorie III, catégorie la plus contraignante en matière de vérification de la conformité des équipements.

Concernant le marquage de ces EPI, celui-ci est apposé sur l'EPI et comporte le numéro de la norme prise en référence, ainsi que le marquage CE suivi du numéro d'identification de l'organisme notifié intervenant dans la procédure.

## Principaux types d'EPI contre les chutes de hauteur

Les systèmes de protection individuelle contre les chutes de hauteur se répartissent selon différents types. La norme NF EN 363:2018<sup>2</sup> décrit les caractéristiques des principaux types : retenue, maintien au poste de travail, arrêt des chutes, accès par corde et sauvetage.

Les systèmes de protection individuelle contre les chutes de hauteur les plus fréquemment utilisés au travail sont les systèmes d'arrêt de chute, les systèmes de retenue et les systèmes de maintien au poste de travail (Cf. Figure 1).

Un système d'arrêt des chutes :

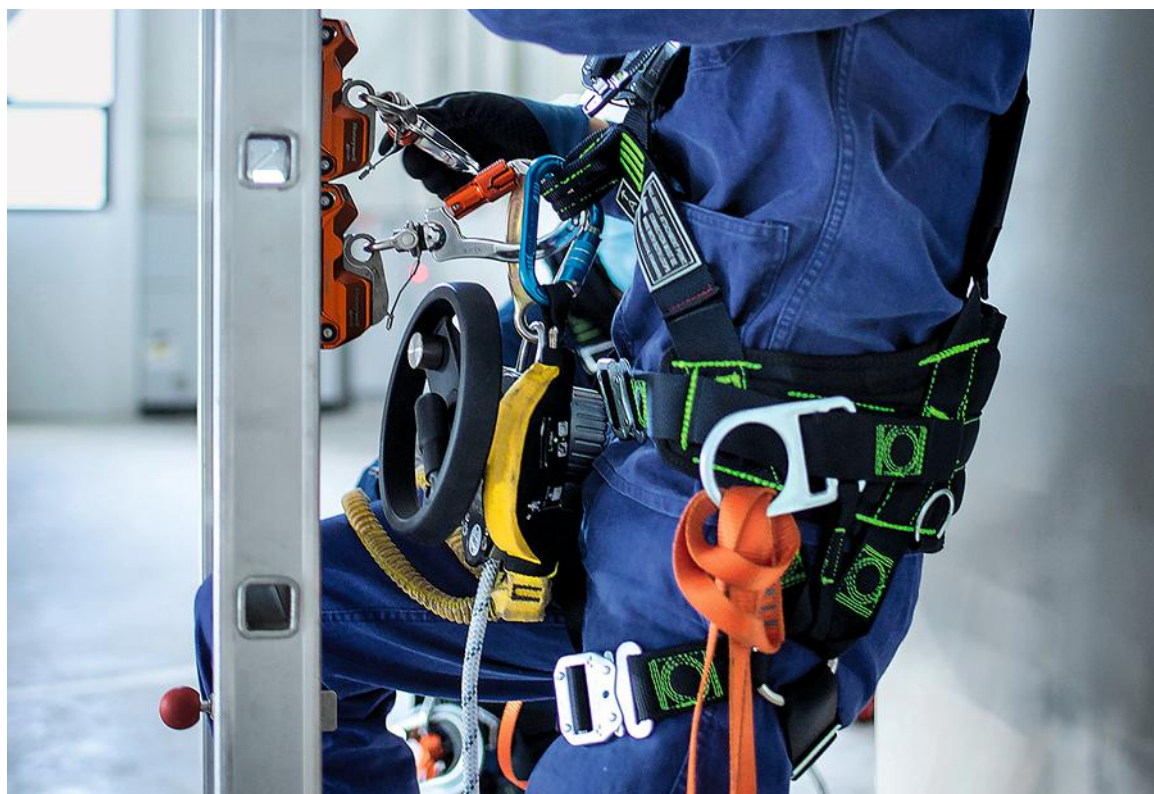
- permet à l'utilisateur d'atteindre une zone depuis laquelle il existe un risque de chute ;
- n'empêche pas la chute ;
- arrête la chute libre ;
- assure le maintien en suspension de l'utilisateur dans l'attente des secours.

Un système de retenue :

- limite les déplacements afin que l'utilisateur ne puisse pas atteindre une zone depuis laquelle une chute est possible ;
- n'est pas conçu pour arrêter une chute ;
- n'est pas destiné aux situations où le soutien de l'utilisateur est nécessaire (exemple : travail en appui ou en suspension).

Un système de maintien au poste de travail :





© Fabrice Dimier pour l'INRS/2021

Élève de BTS en maintenance des systèmes éoliens, suivant une formation sur le travail en hauteur, équipé d'un harnais de sécurité.

- permet à l'utilisateur de travailler en appui ou en suspension ;
- empêche une chute ;
- est utilisé lorsque le soutien de l'utilisateur est nécessaire (exemple : pente importante) ;
- doit être complété par un système de sauvegarde en cas de défaillance (garde-corps, système d'arrêt des chutes...).

### Composition d'un système de protection contre les chutes de hauteur

Un système individuel de protection contre les chutes de hauteur est composé d'un dispositif de maintien du corps, d'un point d'ancrage et d'un système d'accrochage qui les relie l'un à l'autre.

Le choix de ces différents composants dépend des performances attendues et notamment de l'utilisation prévue (arrêt de chute, retenue ou maintien). La norme NF EN 363:2018 fournit des indications utiles à ce sujet.

Lors de la combinaison de ces composants, il est notamment nécessaire de prendre en compte leur aptitude à l'emploi prévu et leur compatibilité. La notice d'instructions disponible avec chaque composant fournit l'ensemble des informations nécessaires à cet effet.

### Formation à l'utilisation des EPI

Les travailleurs qui utilisent des EPI doivent avoir bénéficié d'une formation adéquate, en application de l'article R.4323-106 du Code du travail.

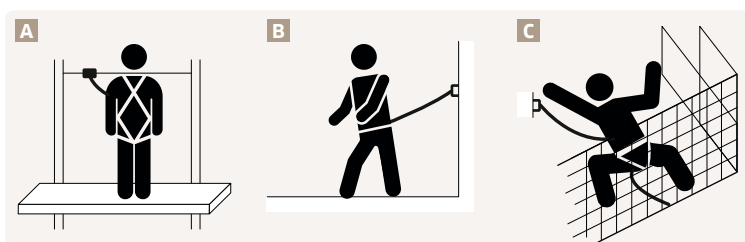
Pour les EPI contre les chutes de hauteur, il est nécessaire que cette formation intègre un volet pratique, permettant un entraînement au port de ces équipements.

Cette formation doit être renouvelée aussi souvent que nécessaire pour que les équipements soient utilisés conformément à la consigne d'utilisation.

L'employeur est responsable des moyens mis en œuvre, notamment les modalités de la formation, qui permettront d'atteindre les objectifs réglementaires. Pour aider les employeurs et les organismes de formation à définir en commun le contenu et la durée de cette formation pour qu'elle soit la plus pertinente possible, la commission française de normalisation compétente a élaboré le fascicule documentaire FD S 71-521<sup>3</sup>. Ce document fournit, pour la plupart des situations classiques de travail en hauteur avec EPI, des recommandations sur :

- les objectifs généraux de la formation ;
- les connaissances spécifiques que l'apprenant doit acquérir ;

↓ FIGURE 1  
A. Exemple d'un système d'arrêt de chutes.  
B. Exemple d'un système de retenue.  
C. Exemple d'un système de maintien.



- le processus de l'acquisition (durée, contenu) et de la validation (théorique et pratique) de ces connaissances.

À noter que la clause 9.3 du fascicule de documentation S 71-521 mentionne que la périodicité de réalisation des formations destinées au MAC (maintien et actualisation des compétences) ne devrait pas excéder trois ans, hormis pour le module « évacuation » pour lequel il est recommandé de réaliser et de consigner chaque année une formation incluant un exercice d'évacuation. Comme la plupart des documents normatifs, ce fascicule n'est pas d'application obligatoire. Il constitue cependant un référentiel pertinent pour satisfaire l'obligation de formation.

### Règles d'utilisation des EPI

En application de la circulaire DRT 2005-08, lorsqu'il est prévu qu'un travailleur ait recours à des EPI contre les chutes de hauteur, les points d'ancrage « sûrs » qui peuvent être utilisés doivent être préalablement définis sous la responsabilité de son employeur.

Que les points d'ancrage utilisés soient permanents ou non, une notice doit en préciser les conditions d'installation et d'utilisation, et des consignes doivent être données par le chef d'établissement au travailleur. S'il existe des points d'ancrage permanents, l'employeur doit consulter tout document permettant de connaître leurs limites d'utilisation : dossier d'intervention ultérieure sur l'ouvrage (DIUO), dossier de maintenance, plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS), instructions du fabricant d'ancrage...

En outre, un travailleur qui utilise des EPI contre les chutes de hauteur ne doit jamais rester seul afin de pouvoir être secouru par une autre personne. Celle-ci peut également réaliser une tâche à condition qu'elle ne l'empêche pas de pouvoir donner l'alerte en cas de situation dangereuse. Elle doit alors mettre en œuvre le dispositif de secours s'il existe ou, en l'absence d'un tel dispositif, avoir reçu la formation adéquate et disposer des moyens nécessaires pour assurer elle-même les secours.

Un plan d'intervention des secours doit être prévu, éventuellement une simulation doit être effectuée afin de bien déterminer le temps nécessaire à l'arri-



© Gaël Kerbaol/INRS/2024

vue des secours. En effet, lorsqu'il est fait usage de ces EPI, le temps d'intervention pour secourir la personne en danger doit être le plus court possible, au maximum quelques minutes.

### Évolution des normes

Depuis une quinzaine d'années, la révision des normes relatives aux EPI contre les chutes de hauteur tend à y intégrer de plus en plus d'essais. Outre ceux destinés à s'assurer de leur fonctionnement et à vérifier leurs performances en conditions normales, les nouveaux tests concernent, par exemple, une charge assignée supérieure à 100 kg, la résistance à la corrosion, des conditions particulières d'emploi (par exemple à des températures inférieures ou égales à  $-30^{\circ}\text{C}$ ), etc.

Les essais peuvent aussi viser à s'assurer de l'efficacité de l'équipement considéré dans les situations prévisibles particulières, comme la chute arrière ou latérale pour les antichutes mobiles incluant un support d'assurage rigide (norme NF EN 353-1+A1:2018<sup>4</sup>). ●

1. Circulaire DRT 2005-08 relative à la mise en œuvre du décret du 1<sup>er</sup> septembre 2004 et de l'arrêté du 21 décembre 2004.

2. Norme NF EN 363 – Équipement de protection individuelle contre les chutes de hauteur. Systèmes individuels de protection contre les chutes. Afnor, 2018.

3. Fascicule de documentation FD S 71-521 – Équipements de protection individuelle contre les chutes de hauteur. Formation à l'utilisation. Recommandations. Afnor, 2020.

4. Norme NF EN 353-1+A1 – Équipement de protection individuelle contre les chutes de hauteur. Antichutes mobiles incluant un support d'assurage – Partie 1 : antichutes mobiles incluant un support d'assurage rigide. Afnor, 2018.

## POUR EN SAVOIR +

- INRS – *Prévention des risques de chutes de hauteur*. ED 6110, 2019. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206110>
- INRS – Dossier Web – *Risques liés aux chutes de hauteur*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/chutes-hauteur/ce-qu-il-faut-retenir.html>



## FOCUS SUR... Le système d'arrêt des chutes

Le point d'ancrage doit être sûr (Cf. Circulaire DRT 2005-08). Le respect des exigences de la norme concernée est un bon moyen pour atteindre cet objectif. Par exemple :

- pour les points d'ancrage qui sont des EPI (démontables sans outil, utilisables par une seule personne...) et sont disposés sur des bâtiments ou des installations : norme NF EN 795:2016<sup>a</sup> ;
- pour ces mêmes points d'ancrage lorsqu'ils sont destinés à être utilisés par plusieurs personnes simultanément : spécification technique CEN/TS 16415:2013<sup>b</sup> ;
- pour les ancrages fixés à demeure sur les bâtiments et structures : norme en cours d'élaboration prEN 17235<sup>c</sup> ;
- pour un point d'ancrage incorporé à une machine la norme harmonisée pertinente : exemples : norme NF EN 280-1:2022 pour les PEMP, norme NF EN 50308:2004 pour les éoliennes...<sup>d</sup>.

Seul un harnais d'antichute conforme à la norme NF EN 361:2002<sup>e</sup> est adapté pour l'arrêt de chute (Cf. norme NF EN 363). Il est conçu et ajusté sur le corps pour le retenir pendant la chute et après l'arrêt de celle-ci. Il comporte un élément dorsal destiné à l'accrochage de l'antichute (identifié « A »), qui peut être complété par un autre élément « A » frontal et par des éléments destinés au maintien au travail ou bien à la retenue.

Le système d'arrêt de chute doit comporter une fonction d'absorption d'énergie qui limite à 6 kN (≈ 600 kg) l'effort de crête appliqué au corps lors de l'arrêt de la chute. Les composants adaptés pour assurer cette fonction sont (Cf. norme NF EN 363) :

- un absorbeur d'énergie conforme à la norme NF EN 355, qui peut être combiné à une longe conforme à la norme NF EN 354 ;
- un antichute à rappel automatique conforme à la norme NF EN 360 ;
- un antichute mobile incluant un support d'assurage, conforme à la norme NF EN 353-1 ou à la norme NF EN 353-2. ●

a. Norme NF EN 795 – Équipement de protection individuelle contre les chutes. Dispositifs d'ancrage. Afnor, 2016.

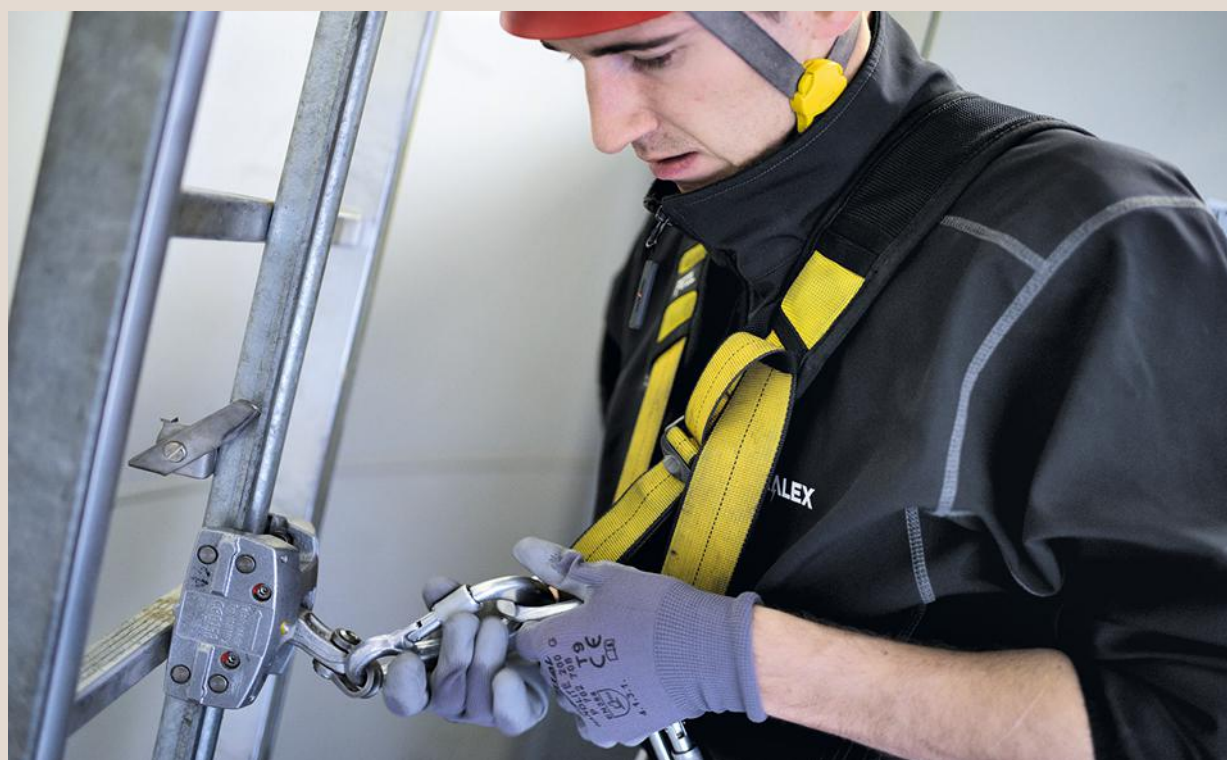
b. Spécification technique CEN/TS 16415 – Équipements de protection individuelle contre les chutes. Dispositifs d'ancrage. Recommandations relatives aux dispositifs d'ancrage destinés à être utilisés par plusieurs personnes simultanément. CEN/BSI, 2013 (en anglais).

c. Projet de norme prEN 17235 – Dispositifs d'ancrage et systèmes d'ancrage avec crochet de sécurité fixés à demeure.

d. Norme NF EN 280-1 – Plates-formes élévatoires mobiles de personnel. Partie 1 : calculs de conception. Critères de stabilité – Construction – Sécurité – Examens et essais. Afnor, 2022. Norme NF EN 50308 – Aérogénérateurs.

Mesure de protection – Exigences pour la conception, le fonctionnement et la maintenance. Afnor, 2004.

e. Norme NF EN 361 – Équipement de protection individuelle contre les chutes de hauteur. Harnais d'antichute. Afnor, 2002.



© Guillaume J. Plisson pour IINRS/2015

# COMPARAISON DES ESSAIS NORMATIFS CONCERNANT LES ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE ET LES DISPOSITIFS MÉDICAUX

En milieux de soins, deux catégories d'équipements individuels se côtoient, ceux relevant de la réglementation sur les dispositifs médicaux, destinés à protéger l'environnement et les patients, et les EPI destinés à protéger le personnel contre un risque de transmission d'un agent biologique. Cet article apporte des éclairages sur les distinctions normatives, parfois complexes à appréhender, appliquées aux cas des gants, vêtements et masques de protection.

MYRIAM  
BOUSLAMA  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

Les équipements utilisés dans un contexte médical destinés à protéger le patient et son environnement (bloc opératoire...) relèvent de la réglementation applicable aux dispositifs médicaux (DM) et sont soumis au règlement 2017/745<sup>1</sup>. Alors que ceux visant à protéger le porteur contre un risque de transmission d'une maladie infectieuse relèvent de la réglementation applicable aux EPI et sont soumis au règlement 2016/425<sup>2</sup>. Ces EPI sont utilisés dans des secteurs professionnels variés dans lesquels des risques biologiques ont été identifiés : laboratoire, assainissement des eaux usées, travail en contact avec des animaux... En milieu médical, le choix entre ces deux familles d'équipements peut se relever difficile, étant donné la méconnaissance des exigences requises pour ces deux familles d'équipements. Certains d'entre eux peuvent en outre remplir simultanément les deux fonctions (double statut DM/EPI). Cet article explique les différences entre la réglementation des DM et la réglementation des EPI, en comparant les essais prévus par les différentes normes : celles relatives aux gants (gants à usage médical *versus* gants de protection), aux vêtements (casaques chirurgicales et tenues de bloc *versus* vêtements de protection contre les agents infectieux) et aux masques (masque à usage médical *versus* appareil de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante).

## Les gants

Un gant à usage médical (DM) répond à la norme NF EN 455 déclinée en quatre parties. Quant au gant de protection contre les micro-organismes (EPI),

il répond à la norme NF EN ISO 374-5 : 2017, faisant elle-même référence à d'autres normes pour des exigences spécifiques. Le *Tableau 1* permet de comparer les exigences auxquelles doivent répondre les gants à usage médical et les gants de protection contre les micro-organismes. Si l'essai d'étanchéité est exigé pour les deux types de gants, d'autres exigences plus spécifiques aux gants à usage médical ne permettent pas de les substituer par des gants de protection, notamment lors des activités nécessitant une asepsie.

En outre, lorsque le gant de protection passe l'essai de pénétration virale décrit dans la norme ISO 16604:2004, une mention supplémentaire « Virus » est ajoutée sous le pictogramme relatif à la protection contre les micro-organismes. À l'inverse, lorsque l'essai n'est pas réalisé, la mention « Non contrôlé contre les virus » doit être ajoutée dans les informations fournies par le fabricant. Pour les gants à usage médical, cet essai n'est en revanche pas exigé et ce marquage n'est pas mentionné. Pour l'utilisateur, ces différences de marquage peuvent être source de confusion sur les caractéristiques techniques du gant. Pour s'assurer d'être protégé vis-à-vis d'une infection virale par contact, le professionnel devra donc utiliser des gants de protection répondant à l'essai de pénétration virale (mention « Virus »).

TABLEAU 1 →

Comparaison des essais normatifs exigés pour les gants médicaux et les gants de protection contre les micro-organismes.  
1. Un projet de norme (pr EN 455-5 : 2023) donne les exigences de mesurage quantitatif des substances chimiques extractibles résiduelles potentiellement dangereuses présentes dans les gants médicaux.

TESTS	GANTS À USAGE MÉDICAL (DM)	GANTS DE PROTECTION CONTRE LES MICRO-ORGANISMES (EPI)	COMMENTAIRE
Essai d'étanchéité	<p><b>NF EN 455-1+A1</b> Essai d'étanchéité à l'eau Niveau de qualité acceptable (NQA) : 0,65 pour les gants chirurgicaux 1,5 pour les gants médicaux.</p>	<p><b>NF EN ISO 374-2</b> Essais d'étanchéité à l'eau et à l'air Niveaux de qualité acceptable (NQA) : Niveau 1 : 4 Niveau 2 : 1,5 Niveau 3 : 0,65 Si le gant est conforme à la norme NF EN ISO 374-2 alors il assure la protection contre les bactéries et les moisissures (Pictogramme relatif au risque biologique avec la mention NF EN ISO 374-5).</p> 	<p>L'essai d'étanchéité à l'eau est exigé dans les deux normes. Celui à l'air est exigé dans la norme NF EN 374-2 où les gants de protection sont testés dans deux milieux : air et eau. Le NQA est une mesure basée sur un échantillonnage aléatoire dans un lot de gants, permettant d'estimer la probabilité de perforations. Plus le NQA est bas, plus la probabilité de perforations du gant est faible.</p>
Pénétration virale	Non exigé	<p><b>ISO 16604</b> Les gants répondant à l'essai de résistance à la pénétration virale, procédure B, portent la mention « Virus » sous le pictogramme relatif au risque biologique.</p> 	<p>La résistance à la pénétration virale n'est pas requise pour les gants à usage médical. Dans une situation nécessitant une protection à la fois du patient et du professionnel de santé, il est nécessaire de choisir des gants répondant aux exigences DM et EPI.</p>
Propriétés physiques	<p><b>NF EN 455-2</b> <u>Taille du gant :</u> Gants de chirurgie : Longueur médiane ≥ 250 à ≥ 280 mm, largeur médiane de 67 à 121 mm (taille 5 à 9,5) Gants d'examen et de soins : longueur médiane ≥ 240 mm, largeur médiane ≤ 80 à ≥ 110 mm (XS, S, M, L, XL). <u>Force à la rupture :</u> Gants de chirurgie ≥ 9 N Gants d'examen et de soins ≥ 6 N pour les gants qui ne sont pas en matériaux thermoplastiques. Gants d'examen et de soins ≥ 3,6 N pour les gants en matériaux thermoplastiques (polychlorure de vinyle, polyéthylène).</p>	<p><b>NF EN ISO 21420</b> <u>Taille du gant :</u> Longueur de la main de &lt;160 à &gt;215 mm (taille 4 à 13), tour de la main de 101 à 329 mm. <u>Force à la rupture :</u> Non spécifié dans la norme.</p>	<p>Le test de force à la rupture n'est pas exigé pour les gants de protection contre les micro-organismes. La résistance mécanique des gants de protection est évaluée selon la norme NF EN 388+A1, dont les essais sont plus complets que ceux de la force à la rupture décrits dans la NF EN 455-2 : résistance à l'abrasion, coupure, déchirure, perforation, choc. Il existe peu de gants à usage unique répondant aux normes relatives à la résistance mécanique (NF EN 388+A1) et aux risques biologiques (NF EN ISO 374-5).</p>
Évaluation de la sécurité biologique des gants	<p><b>NF EN 455-3</b> Ces gants doivent être évalués selon la norme NF EN ISO 10993-1 <u>Substances chimiques :</u> Les gants ne doivent pas être revêtus de poudre de talc. Le fabricant doit fournir une liste des composants chimiques dont les effets nocifs pour la santé sont connus. Un étiquetage spécifique est prévu pour les gants contenant des substances chimiques pouvant provoquer des allergies de type IV. <u>Endotoxines :</u> Gants stériles étiquetés comme étant à faible teneur en endotoxines : teneur &lt; 20 unités d'endotoxines/ paire de gants. <u>Gants non poudrés :</u> quantité poudre &lt; 2mg/gant. <u>Protéines extractibles<sup>1</sup> :</u> Réduction maximale du niveau de protéines extractibles dans les gants contenant du latex de caoutchouc naturel.</p>	<p><b>NF EN ISO 21420</b> <u>Substances chimiques :</u> Dans les conditions prévisibles d'utilisation, les matériaux ne doivent pas libérer de substances toxiques, cancérigènes, mutagènes, allergéniques, reprotoxiques, corrosives, sensibilisantes ou irritantes. L'annexe E informative précise qu'en l'absence de données sur les matières constitutives des gants, les gants doivent être évalués selon la norme NF EN ISO 10993-1. <u>Endotoxines et poudre :</u> Non spécifié dans la norme. <u>Protéines extractibles :</u> Non spécifié dans la norme.</p>	<p>La norme NF EN ISO 374-5 ne requérant pas de mesure d'endotoxine et de poudre, les gants de protection contre les micro-organismes ne permettent pas d'assurer la sécurité du patient lors de certaines interventions chirurgicales. Dans ce cas, les références sont celles utilisées pour les gants à usage médical.</p>
Détermination de la durée de conservation	<p><b>NF EN 455-4</b> Durée de conservation basée sur un test de vieillissement accéléré avant mise sur le marché et en temps réel après la mise sur le marché : nouvelle vérification de la force à la rupture, de l'absence de trous, de l'intégrité de la barrière stérile.</p>	<p>L'indication d'une date d'obsolescence est de la responsabilité du fabricant. Elle dépend également du respect des conditions de stockage et d'utilisation préconisées.</p>	





VÊTEMENTS CHIRURGICAUX CONFORMES À LA NORME NF EN 13795						
	Casaque performance standard		Casaque haute performance		Tenues de bloc	
	Zone critique	Zone moins critique	Zone critique	Zone moins critique	Performance standard	Haute performance
Protection contre la pénétration d'eau (NF EN ISO 811)	≥ 20 cm H <sub>2</sub> O	≥ 10 cm H <sub>2</sub> O	≥ 100 cm H <sub>2</sub> O	≥ 10 cm H <sub>2</sub> O	NE <sup>1</sup>	NE
Protection contre la pénétration de bactéries à l'état sec (NF EN ISO 22612)	NE	≤ 300 UFC <sup>2</sup>	NE	≤ 300 UFC	≤ 100 UFC	≤ 50 UFC
Protection contre la pénétration de bactéries à l'état humide (NF EN ISO 22610)	Ib <sup>3</sup> ≥ 2,8	NE	Ib ≥ 6	NE	NE	NE
Protection contre la pénétration par des aérosols liquides contaminés (ISO / DIS 22611) <sup>4</sup>	NE					
Résistance à la pénétration de sang synthétique sous pression hydrostatique : Pression hydrostatique à laquelle le matériau satisfait à l'essai (ISO 16603)	NE					
Résistance à la pénétration de virus véhiculés par du sang sous pression hydrostatique : Pression hydrostatique à laquelle le matériau satisfait à l'essai (ISO 16604)	NE					
Résistance à l'éclatement (NF EN ISO 13938-1): - État sec - État humide	≥ 40 kPa ≥ 40 kPa	≥ 40 kPa NE	≥ 40 kPa ≥ 40 kPa	≥ 40 kPa NE	≥ 40 kPa NE	≥ 40 kPa NE
Résistance à la traction (NF EN ISO 9073-3): - État sec - État humide	≥ 20 N ≥ 20 N	≥ 20 N NE	≥ 20 N ≥ 20 N	≥ 20 N NE	≥ 20 N NE	≥ 20 N NE
Résistance à la traction (NF EN ISO 13934-1)	NE					
Résistance à l'abrasion (NF EN ISO 12947-2)	NE					
Résistance à la fissuration par flexion (NF EN ISO 7854 méthode B)	NE					
Résistance au déchirement trapézoïdal (NF EN ISO 9073-4)	NE					
Résistance à la perforation (NF EN 863)	NE					
Résistance des coutures (NF EN ISO 13935-2)	NE					
Libération de particules (NF EN ISO 9073-10)	Nb total de peluches (log <sub>10</sub> ) ≤ 4					
Propreté microbienne, biocharge (NF EN ISO 11737-1)	≤ 300 UFC/ 100 cm <sup>2</sup>	≤ 300 UFC/ 100 cm <sup>2</sup>	≤ 300 UFC/ 100 cm <sup>2</sup>	≤ 300 UFC/ 100 cm <sup>2</sup>	≤ 100 UFC/ 100 cm <sup>2</sup>	≤ 100 UFC/ 100 cm <sup>2</sup>

↑ **TABLEAU 2** Comparaison des essais normatifs exigés pour les vêtements chirurgicaux et les vêtements contre les agents infectieux.  
 1. NE = Non exigé. 2. UFC = Unité formant colonie (unité de mesure des micro-organismes cultivables). 3. Ib = Index barrière, représente la fraction de la contamination bactérienne qui n'a pas pénétré le matériau (6 signifie « Pas de pénétration », valeur maximale possible).  
 4. La norme ISO / DIS 22611 a été supprimée, mais le test est toujours demandé dans la norme NF EN 14126.

VÊTEMENT DE PROTECTION CONTRE LES AGENTS INFECTIEUX CONFORME À LA NORME NF EN 14126						
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
Protection contre la pénétration d'eau (NF EN ISO 811)	NE					
Protection contre la pénétration de bactéries à l'état sec (NF EN ISO 22612)	2 < log UFC ≤ 3	1 < log UFC ≤ 2	log UFC ≤ 1	–	–	–
Protection contre la pénétration de bactéries à l'état humide (NF EN ISO 22610)	≤ 15 min	Compris entre 16 et 30 min	Compris entre 31 et 45 min	Compris entre 46 et 60 min	Compris entre 61 et 75 min	> 75 min
Protection contre la pénétration par des aérosols liquides contaminés (ISO / DIS 22611) <sup>4</sup>	1 < log ≤ 3	3 < log ≤ 5	log > 5	–	–	–
Résistance à la pénétration de sang synthétique sous pression hydrostatique : Pression hydrostatique à laquelle le matériau satisfait à l'essai (ISO 16603)	0 kPa	1,75 kPa	3,5 kPa	7 kPa	14 kPa	20 kPa
Résistance à la pénétration de virus véhiculés par du sang sous pression hydrostatique : Pression hydrostatique à laquelle le matériau satisfait à l'essai (ISO 16604)	0 kPa	1,75 kPa	3,5 kPa	7 kPa	14 kPa	20 kPa
Résistance à l'éclatement (NF EN ISO 13938-1): - État sec - État humide	NE					
Résistance à la traction (NF EN ISO 9073-3): - État sec - État humide	NE					
Résistance à la traction (NF EN ISO 13934-1)	> 30 N	> 60 N	> 100 N	> 250 N	> 500 N	> 1 000 N
Résistance à l'abrasion (NF EN ISO 12947-2)	> 10 frottements	> 40 frottements	> 100 frottements	> 400 frottements	> 1 000 frottements	> 2 000 frottements
Résistance à la fissuration par flexion (NF EN ISO 7854 méthode B)	> 500 cycles	> 1 250 cycles	> 3 000 cycles	> 8 000 cycles	> 20 000 cycles	> 50 000 cycles
Résistance au déchirement trapézoïdal (NF EN ISO 9073-4)	> 10 N	> 20 N	> 40 N	> 60 N	> 100 N	> 150 N
Résistance à la perforation (NF EN 863)	> 5 N	> 10 N	> 50 N	> 100 N	> 150 N	> 250 N
Résistance des coutures (NF EN ISO 13935-2)	> 30 N	> 50 N	> 75 N	> 125 N	> 300 N	> 500 N
Libération de particules (NF EN ISO 9073-10)	NE					
Propreté microbienne, biocharge (NF EN ISO 11737-1)	NE					

↑ TABLEAU 2 Suite.



### Les vêtements

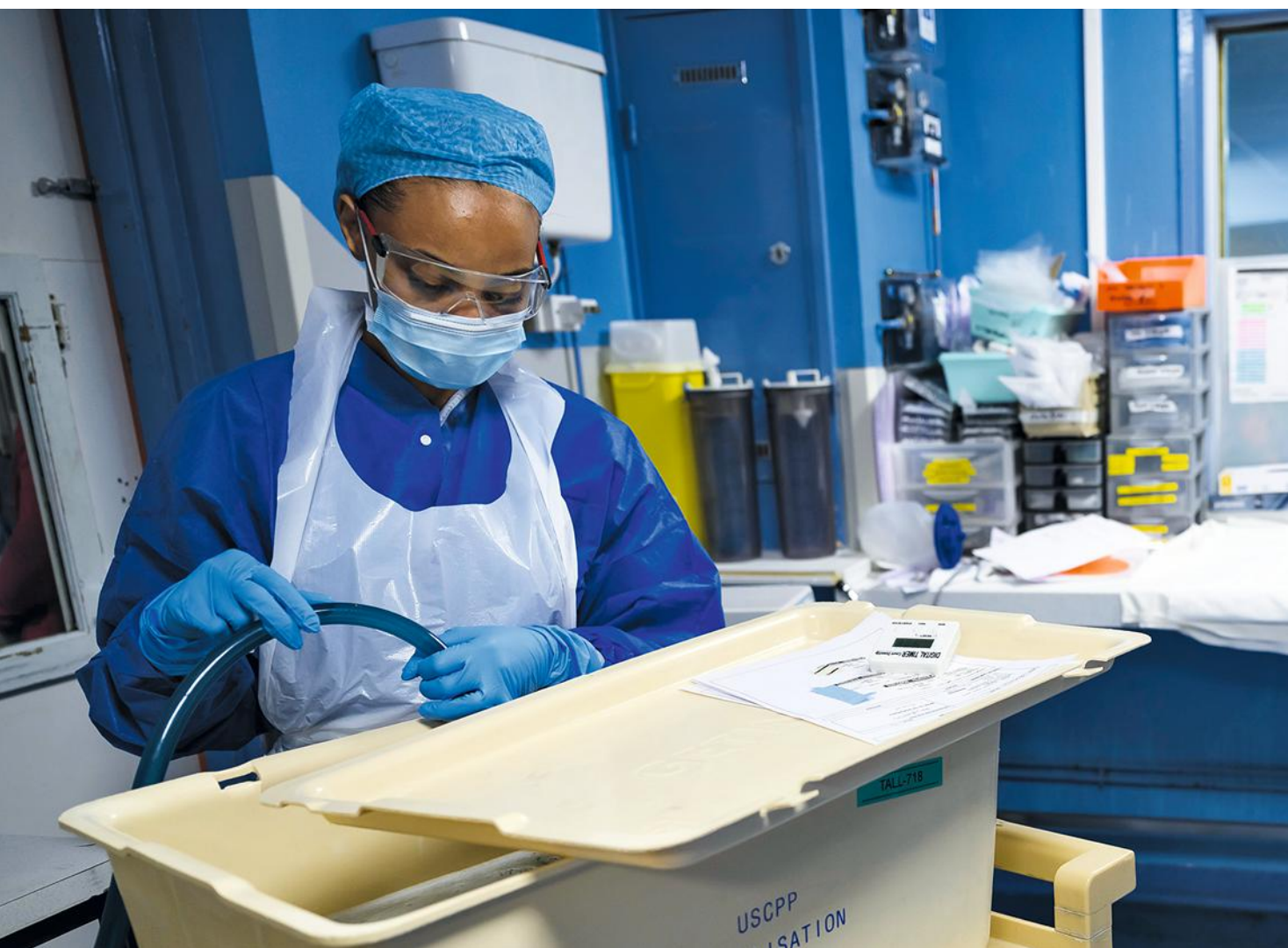
Pour les DM, les exigences de performance des matériaux constituant les vêtements chirurgicaux sont définies par la norme NF EN 13795 (partie 1 pour les champs chirurgicaux et casques et partie 2 pour les tenues de bloc). Elle permet de classer les vêtements chirurgicaux selon le niveau de performance (standard ou haute), en tenant compte des contraintes différentes selon le type d'intervention chirurgicale (Cf. Tableau 2).

Pour les EPI, les exigences pour les vêtements de protection contre les agents infectieux sont définies par la norme NF EN 14126, qui considère la performance des matériaux (notamment contre la pénétration d'agents infectieux et la résistance mécanique), des coutures et de la combinaison complète.

La comparaison des essais exigés pour les matériaux constituant les vêtements chirurgicaux et les vêtements de protection contre les agents infectieux permet de faire ressortir plusieurs points (Cf. Tableau 2) :

- Les exigences de performance des matériaux contre la pénétration d'agents infectieux ne sont pas identiques :
  - lorsque les deux faces du matériau diffèrent, les essais doivent être effectués sur la face exposée à la source de contamination lors de l'utilisation du vêtement. Pour le vêtement chirurgical, il s'agit de la face intérieure ; quant au vêtement de protection, il s'agit de la face extérieure ;
  - les essais de résistance à la pénétration d'agents infectieux par contact mécanique avec des liquides contaminés par des bactéries (NF EN ISO 22610) ou avec des particules contaminées par des bactéries (NF EN ISO 22612) sont communs aux deux types de vêtement. Cependant, les résultats ne sont pas exploités de la même façon ; leur comparaison est donc difficile. Concernant l'essai NF EN ISO 22610, un index barrière est calculé pour les casques chirurgicaux, représentant la fraction de la contamination bactérienne qui n'a pas pénétré le matériau

Décontamination de matériel chirurgical.



© Gaël Kerbaol / INRS / 2022



(la valeur 6 signifiant «Pas de pénétration»), alors que le résultat est exprimé en durée de résistance au passage pour les vêtements de protection ;

- l'essai NF EN ISO 811 est exigé uniquement pour les vêtements chirurgicaux. Il consiste à soumettre le matériau à une pression d'eau, qui augmente de 10 cm d'eau par minute, jusqu'à obtenir une traversée du matériau par des gouttes. Le résultat s'exprime en cm d'eau. Plus la pression hydrostatique nécessaire est élevée, plus le matériau est résistant à la pénétration de l'eau. L'eau a une tension superficielle supérieure à celle des liquides biologiques (comme le sang). Par conséquent, l'eau est plus susceptible de perler sur une surface, alors que les liquides biologiques peuvent plus facilement mouiller et pénétrer le vêtement. Cette méthode ne permet donc pas d'évaluer correctement l'efficacité du matériau pour les agents pathogènes transmissibles par le sang. Les essais de résistance à la pénétration par le sang (ISO 16603) et par les virus (ISO 16604) ne sont exigés que pour les vêtements de protection.

- Les essais de performance mécanique sont plus complets pour les vêtements de protection que pour les vêtements chirurgicaux.
- La norme NF EN 13795 admet des exigences différentes sur un même vêtement chirurgical pour les zones critiques (plus susceptibles d'être en contact direct) et les autres zones du vêtement (pouvant être éclaboussées ou pulvérisées par inadvertance).

Au-delà des essais relatifs à la résistance des matériaux, d'autres éléments de conception doivent également être pris en compte dans le processus de sélection d'un vêtement. Le choix entre une blouse et une combinaison va dépendre de plusieurs critères, notamment la partie protégée du corps. Une combinaison offre une protection de l'ensemble du corps, alors qu'une blouse chirurgicale peut être ouverte au niveau du dos et ne couvre que jusqu'au milieu du mollet. Cette blouse sera donc adaptée en cas d'exposition uniquement au niveau de la poitrine et des manches. Elle procurera en revanche un meilleur confort thermique et facilitera l'enfilage et le retrait. De plus, la résistance des coutures est un élément à ne pas négliger : elle joue un rôle essentiel dans la protection globale fournie par les vêtements.

Le niveau approprié de protection doit être choisi en fonction du type d'exposition, du mode de transmission de l'agent biologique et de la durée d'intervention. Lorsqu'il est nécessaire de protéger le personnel d'une exposition avec des liquides biologiques contenant des virus se transmettant par contact (par exemple lors de la prise en charge

d'un patient atteint d'une fièvre hémorragique virale), il est important de porter des vêtements démontrant une résistance au sang synthétique (norme ISO 16603) et au passage des virus (norme ISO 16604). Ces essais n'étant exigés que par la norme NF EN 14126 relative aux vêtements de protection, il n'est alors pas opportun de recommander des vêtements chirurgicaux répondant uniquement à la norme NF EN 13795.

### Les masques

Deux types de masques sont distingués : les masques à usage médical (aussi appelés masques chirurgicaux) et les appareils de protection respiratoire (APR) de type pièce faciale filtrante (*filtering facepiece*, FFP) qui sont les plus utilisés en milieu de soins.

Les masques à usage médical sont des DM répondant à la norme NF EN 14683+AC. Leur efficacité est évaluée pour un flux circulant de l'intérieur vers l'extérieur des masques en utilisant un aérosol bactérien de taille moyenne de 3 µm. Seule l'efficacité du matériau filtrant est évaluée. Ils sont classés en trois types : I, II et IIR :

- type I : efficacité de filtration bactérienne ≥ 95 % ;
- type II : efficacité de filtration bactérienne ≥ 98 % ;
- type IIR : efficacité de filtration bactérienne ≥ 98 % et résistance aux éclaboussures de sang synthétique (≥ 16 kPa).

La respirabilité est déterminée en mesurant la chute de pression (perte de charge) à travers un échantillon du masque lorsque celui-ci est traversé par un flux d'air de vitesse donnée. Plus cette perte de charge est faible, plus la respirabilité du masque est grande. Dans les conditions d'essais de la norme, sur une surface de référence de 4,9 cm<sup>2</sup>, cette pression différentielle ne doit pas dépasser :

- Pour les types I et II : 196 Pa pour un débit d'air de 8 L/min ;
- Pour le type IIR : 294 Pa pour un débit d'air de 8 L/min.

La quantification des fuites au visage autour du masque n'est pas incluse dans la norme.

Les APR de type FFP sont des EPI répondant à la norme NF EN 149+A1. Leur efficacité est évaluée pour un flux circulant de l'extérieur vers l'intérieur de l'APR, en utilisant un aérosol de diamètre moyen plus fin (0,6 µm) que celui utilisé pour les masques à usage médical. Dans le cas des APR, l'efficacité du matériau est évaluée ainsi que celle du masque dans sa globalité lors d'essais normalisés de port sur sujets (fuite totale vers l'intérieur). Ils sont classés en trois types selon l'efficacité du matériau filtrant :

- FFP1 : arrêt d'au moins 80 % de cet aérosol ;



- FFP2 : arrêt d'au moins 94 % de cet aérosol ;
  - FFP3 : arrêt d'au moins 99,95 % de cet aérosol.
- Pour chacune des classes, la fuite totale vers l'intérieur (fraction de l'aérosol pénétrant dans le masque) ne doit pas dépasser :
- 22 % pour les FFP1 ;
  - 8 % pour les FFP2 ;
  - 2 % pour les FFP3.

La respirabilité du matériau filtrant est également exigée et déterminée sur le même principe que pour les masques à usage médical mais dans des conditions d'essais différentes. Pour chaque classe de FFP, pour un masque entier, la pression différentielle mesurée ne doit pas dépasser :

- FFP1 : 60 Pa pour un débit d'air de 30 L/min ;  
210 Pa pour un débit d'air de 95 L/min ;
- FFP2 : 70 Pa pour un débit d'air de 30 L/min ;  
240 Pa pour un débit d'air de 95 L/min ;
- FFP3 : 100 Pa pour un débit d'air de 30 L/min ;  
300 Pa pour un débit d'air de 95 L/min.

Ces valeurs, ramenées dans des conditions d'essais comparables entre les deux normes, conduiraient à des valeurs de pression différentielle à ne pas dépasser supérieures à celles exigées pour les masques à usage médical. Du fait de ses hautes performances, le matériau constituant les masques FFP, notamment FFP3, est moins respirable que celui qui constitue les masques à usage médical.

Au-delà des essais normatifs, les performances obtenues sont très dépendantes de l'ajustement de l'APR sur le visage du sujet. Ainsi pour garantir le niveau de protection attendu d'un FFP, il est nécessaire d'effectuer un essai d'ajustement pour s'assurer que le modèle de masque choisi est bien adapté au visage du porteur.

En milieu de soins, le masque médical est à la fois utilisé en tant que mesure de protection à

la source et pour protéger son porteur des gouttelettes émises par une personne en vis-à-vis. Cependant, il n'est pas conçu pour éviter les fuites au visage et ne peut être utilisé pour se protéger des petites particules en suspension dans l'air. Seul un APR de type FFP protège dans cette situation, notamment lors de la prise en charge d'un patient atteint d'une pathologie due à un agent biologique transmissible par voie aérienne ou lors d'une manœuvre à risque d'aérosolisation de particules infectieuses.

### La certification

Le marquage de conformité CE permet de garantir que les équipements suivent les procédures de certifications et les règles de conception. Celles-ci ne sont pas identiques selon le type d'équipements. Les gants médicaux non stériles, les masques chirurgicaux, les casques ou tenues de bloc non stériles sont considérés comme des DM de classe 1, ce qui signifie que seule une procédure d'auto-certification est réalisée par le fabricant, sans faire appel à un organisme notifié.

En revanche, conformément au règlement 2016/425, les EPI contre les agents biologiques nocifs sont des EPI de catégorie III, ce qui signifie qu'ils sont soumis à des essais de vérification de leur conformité par un organisme notifié (examen CE de type) complété par un contrôle de la production par prélèvement d'échantillons ou par vérification du système d'assurance qualité.

### Conclusion

La comparaison des essais exigés pour les équipements relevant de la famille des DM et des EPI permet d'orienter le choix des équipements en fonction de l'évaluation du risque à la fois pour le patient et le professionnel. Si les DM peuvent avoir des qualités intéressantes, ils sont avant tout conçus pour protéger le patient et l'environnement et non pour assurer une protection du professionnel, notamment vis-à-vis de virus pathogènes transmissibles par contact cutané dans le cas des gants et des vêtements chirurgicaux, ou vis-à-vis d'agents biologiques transmissibles par voie aérienne dans le cas des masques chirurgicaux. L'utilisation d'équipements répondant aux exigences des deux règlements (double certification) permet d'assurer une protection à la fois pour le patient et le professionnel. ●

1. Règlement 2017/745 du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2017 relatif aux dispositifs médicaux, modifiant la directive 2001/83/CE, le règlement (CE) 178/2002 et le règlement (CE) 1223/2009 et abrogeant les directives du Conseil 90/385/CEE et 93/42/CEE.

2. Règlement (UE) 2016/425 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2016 relatif aux équipements de protection individuelle et abrogeant la directive 89/686/CEE du Conseil.

## POUR EN SAVOIR +

- INRS – *Les risques biologiques*. ED 6495, 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206495>
- INRS – Dossier web – *Risques biologiques*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/biologiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- INRS – *Appareils de protection respiratoire et risques biologiques*. ED 146, 2019. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20146>
- INRS – *Les gants contre les micro-organismes*. ED 145, 2019. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20145>
- INRS – *Vêtements de protection contre les risques infectieux. Aide au choix sur la base des caractéristiques normalisées*. ED 143, 2023. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20143>
- INRS – *Prise en charge des patients atteints d'infection liée à un risque épidémique. Tenues de protection des soignants et procédures de déshabillage*. ED 6306, 2018. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206306>

## ANNEXE

## RÉFÉRENCES NORMATIVES

**NF EN 455-1+A1 : 2022**

Gants médicaux non réutilisables – Partie 1 : exigences et essais pour la détection de l'absence de trous.

**NF EN 455-2 : 2024**

Gants médicaux non réutilisables – Partie 2 : exigences et essais pour propriétés physiques.

**NF EN 455-3 : 2023**

Gants médicaux non réutilisables – Partie 3 : exigences et essais pour évaluation biologique.

**NF EN 455-4 : 2009**

Gants médicaux non réutilisables – Partie 4 : exigences et essais relatifs à la détermination de la durée de conservation.

**NF EN ISO 374-5 : 2017**

Gants de protection contre les produits chimiques dangereux et les micro-organismes – Partie 5 : terminologie et exigences de performance pour les risques contre les micro-organismes.

**NF EN ISO 21420 : 2020**

Gants de protection – Exigences générales et méthodes d'essai.

**NF EN ISO 374-2 : 2019**

Gants de protection contre les produits chimiques dangereux et les micro-organismes – Partie 2 : détermination de la résistance à la pénétration.

**NF EN ISO 10993-1 : 2020**

Évaluation biologique des dispositifs médicaux – Partie 1 : évaluation et essais au sein d'un processus de gestion du risque.

**ISO 16604 : 2004**

Vêtements de protection contre les contacts avec le sang et les fluides corporels – Détermination de la résistance à la pénétration par des pathogènes véhiculés par le sang des matériaux entrant dans la fabrication des vêtements de protection – Méthode d'essai utilisant le bactériophage PhiX174.

**NF EN 388+A1 : 2018**

Gants de protection contre les risques mécaniques.

**NF EN ISO 10993-1 : 2020**

Évaluation biologique des dispositifs médicaux – Partie 1 : évaluation et essais au sein d'un processus de gestion du risque.

**NF EN 13795-1 : 2019**

Vêtements et champs chirurgicaux – Exigences et méthodes d'essai – Partie 1 : champs et casques chirurgicaux.

**NF EN 13795-2 : 2019**

Vêtements et champs chirurgicaux – Exigences et méthodes d'essai – Partie 2 : tenues de bloc.

**NF EN 14126 : 2004**

Vêtements de protection – Exigences de performances et méthodes d'essai pour les vêtements de protection contre les agents infectieux.

**NF EN ISO 811 : 2018**

Textiles – Détermination de la résistance à la pénétration de l'eau – Essai sous pression hydrostatique.

**NF EN ISO 22612 : 2005**

Vêtements de protection contre les agents infectieux – Méthode d'essai de la résistance à la pénétration microbienne par voie sèche.

**NF EN ISO 22610 : 2006**

Champs chirurgicaux, casques et tenues de bloc, utilisés en tant que dispositifs médicaux, pour les patients, le personnel et les équipements – Méthode d'essai de résistance à la pénétration de la barrière bactérienne à l'état humide.

**ISO/DIS 22611**

Vêtements de protection contre les agents infectieux – Méthode d'essai pour la résistance à la pénétration d'aérosols contaminés biologiquement.

**ISO 16603 : 2004**

Vêtements de protection contre les contacts avec le sang et les fluides corporels – Détermination de la résistance des matériaux des vêtements de protection à la pénétration par le sang et les fluides corporels – Méthode d'essai utilisant un sang synthétique.

**NF EN ISO 13938-1 : 2019**

Textiles – Propriétés de résistance à l'éclatement des étoffes – Partie 1 : méthode hydraulique pour la détermination de la résistance et de la déformation à l'éclatement.

**NF EN ISO 9073-3 : 2023**

Non tissés – Méthodes d'essai – Partie 3 : détermination de la résistance à la traction et de l'allongement à la rupture par la méthode sur bande.

**NF EN ISO 13934-1 : 2013**

Textiles – Propriétés des étoffes en traction – Partie 1 : détermination de la force maximale et de l'allongement à la force maximale par la méthode sur bande.

**NF EN ISO 12947-2 : 2017**

Textiles – Détermination de la résistance à l'abrasion des étoffes par la méthode Martindale – Partie 2 : détermination de la détérioration de l'éprouvette.

**NF EN ISO 7854 : 1997**

Supports textiles revêtus de caoutchouc ou de plastique – Détermination de la résistance à la flexion.

**NF EN ISO 9073-4 : 2021**

Non tissés – Méthodes d'essai – Partie 4 : détermination de la résistance à la déchirure par la méthode du trapèze.

**NF EN 863 : 1996**

Vêtements de protection – Propriétés mécaniques – Méthode d'essai : résistance à la perforation.

**NF EN ISO 13935-2 : 2014**

Textiles – Propriétés de résistance à la traction des coutures d'étoffes et d'articles textiles confectionnés – Partie 2 : détermination de la force maximale avant rupture des coutures par la méthode d'arrachement (*Grab test*).

**NF EN ISO 9073-10 : 2005**

Textiles – Méthodes d'essai pour non tissés – Partie 10 : relargage de peluches et autres particules à l'état sec.

**NF EN ISO 11737-1 : 2018**

Stérilisation des produits de santé – Méthodes microbiologiques – Partie 1 : détermination d'une population de micro-organismes sur des produits.

**EN 14683:2019+AC: 2019**

Masques à usage médical : exigences et méthodes d'essai.

**NF EN 149 +A1 : 2009**

Appareils de protection respiratoire. Demi-masques filtrants contre les particules. Exigences, essais, marquage.

Voir : <https://www.boutique.afnor.org/fr> (site payant).



# PROTECTION RESPIRATOIRE : UN NOUVEAU DISPOSITIF POUR L'HABILITATION DES OPÉRATEURS D'ESSAIS D'AJUSTEMENT

La réalisation d'essais d'ajustement est nécessaire lors du processus de choix d'un appareil de protection respiratoire (APR) comprenant un demi-masque ou un masque complet. Pour réaliser ces tests, il est conseillé de faire appel à un opérateur d'essai d'ajustement, habilité selon le dispositif AJUStest, récemment mis en place. Cet article fait le point sur cette évolution.

MICHÈLE  
GUIMON  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

Dans certaines situations de travail, la présence de polluants dans l'atmosphère peut générer un risque d'altération de la santé par inhalation. Lorsque les mesures de protection collective (la substitution des produits dangereux, la suppression de la source de l'émission des polluants, le captage des polluants par des procédés d'encoffrement ou de ventilation...) sont insuffisantes, lorsqu'elles nécessitent un délai d'application ou sont techniquement impossibles à mettre en place, alors le port d'un appareil de protection respiratoire (APR) s'impose.

## L'essai d'ajustement d'un APR

L'employeur doit réaliser une étude approfondie du poste de travail pour sélectionner l'APR approprié. Le processus de choix comporte quatre étapes [1]. Les trois premières permettent de définir le type d'appareil adapté à la situation de travail en déterminant la teneur en oxygène, la nature et la concentration des polluants auxquels l'opérateur est exposé, le niveau de protection requis, et en tenant compte des conditions d'utilisation. La quatrième et dernière étape consiste à choisir le modèle ou la taille de masque adapté à chaque personne.

En effet, l'air pollué environnant le porteur ne doit pas pénétrer à l'intérieur du masque par des défauts d'étanchéité entre le visage et le masque. Les demi-masques et les masques complets (Cf. Figure 1) doivent donc être correctement ajustés sur le visage afin d'éviter ces fuites. Un modèle donné ne peut

pas convenir à toutes les morphologies de visage. L'essai d'ajustement (en anglais : *fit test*) permet de faire ce choix entre différents masques.

Les essais d'ajustement sont effectués lors de la sélection initiale de l'APR. Il est recommandé de les répéter périodiquement avec le masque personnel du porteur, de préférence annuellement [2, 3], et à l'occasion de la maintenance du masque ou de changements physiques du porteur (cicatrice, amaigrissement, modification de la dentition, etc.). Les essais d'ajustement sont obligatoires [4] pour les APR utilisés lors d'opérations comportant un risque d'exposition à l'amiante. Ces essais peuvent être qualitatifs ou quantitatifs [2] :

- les essais qualitatifs consistent à exposer le porteur d'un masque à une atmosphère contenant une substance d'essai dotée d'un goût ou d'une odeur particuliers. Si le porteur détecte la substance, le masque n'est pas étanche ;
- les essais quantitatifs permettent de calculer un coefficient d'ajustement, propre au porteur pour le masque testé. L'étanchéité du masque sera d'autant meilleure que le coefficient est élevé. Deux méthodes (comptage de particules à l'intérieur du masque, pression négative contrôlée) peuvent être utilisées sur site.

La méthode applicable dépend notamment du type de pièce faciale (demi-masque, demi-masque filtrant à usage unique, masque complet).

## L'opérateur d'essai d'ajustement

Les essais d'ajustement sont réalisés par un opérateur d'essai d'ajustement, personne compétente



© Jean-André Deledda pour l'INRS/2021

↑ FIGURE 1 Pièces faciales concernées par les essais d'ajustement.  
 En haut : demi-masques. Au milieu : demi-masques filtrants. En bas : masques complets.

en protection respiratoire, formée à la bonne utilisation des équipements d'essai. L'opérateur doit disposer des connaissances sur les différents types d'APR et sur la méthode de sélection d'un APR approprié à une situation de travail. Il doit notamment être capable :

- de connaître l'objectif d'un essai d'ajustement, les différentes méthodes existantes avec leurs

domaines d'application respectifs et leurs limites ;

- d'expliquer aux personnes concernées le déroulé de l'essai à mettre en œuvre ;
- d'examiner un APR pour identifier s'il est mal entretenu ou s'il présente des défauts ;
- d'évaluer le positionnement correct d'une pièce faciale et la réalisation des contrôles d'étanchéité par le porteur ;



**POUR EN SAVOIR +**

- INRS – *Webinaire : Comment bien choisir un appareil de protection respiratoire ?* Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=Anim-391>
- INRS – *Vidéo : Essai d'ajustement sur appareils de protection respiratoire.* Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=Anim-372>

Technicien s'équipant et vérifiant l'étanchéité de son équipement de protection respiratoire.

- de détecter *a priori* les mauvais ajustements (pièce faciale de forme inadaptée, appareil mal assemblé, présence de cheveux ou de poils à la jonction masque/visage...);
- de réaliser un essai d'ajustement (inspecter et préparer les pièces faciales; préparer, contrôler et régler les matériels utilisés; mener l'essai conformément au protocole; prévenir et corriger les problèmes pouvant survenir pendant l'essai);
- d'interpréter les résultats d'essais et identifier les causes d'échec éventuel d'un essai;



- d'enregistrer les informations correspondantes. L'opérateur d'essai d'ajustement peut être une personne interne à l'entreprise, un prestataire de services, un fournisseur d'EPI. Il n'existe pas de formation spécifique.

Le Synamap (Syndicat national des acteurs du marché de la prévention et de la protection) a récemment mis en place, pour la France, un dispositif d'habilitation des opérateurs d'essais d'ajustement dénommé AJUStest<sup>1</sup>.

La commission Protection respiratoire du syndicat a rédigé un référentiel détaillé des connaissances et compétences que doit posséder un opérateur d'essai d'ajustement. Elle a confié à la société Accrédit la mission d'évaluer les candidats à l'habilitation selon ce référentiel (<https://accredit.com/>). Les candidats peuvent choisir entre quatre modules d'évaluation en fonction des méthodes d'essai qu'ils souhaitent mettre en œuvre. Un comité composé de membres de la commission Protection respiratoire du Synamap valide les évaluations et habilite les opérateurs. Le Synamap publie sur son site les coordonnées des opérateurs habilités.

**Conclusion**

Pour procurer le niveau de protection attendu, un demi-masque ou un masque complet doit être correctement ajusté au visage. L'essai d'ajustement est donc une étape incontournable et il doit être réalisé par une personne compétente. Le dispositif AJUStest permet de reconnaître la compétence des opérateurs d'essais d'ajustement dans ce domaine. ●

1. Voir : <https://www.synamap.fr/2023/07/27/ajustest-le-systeme-dhabilitation-fit-test-du-synamap/>

**BIBLIOGRAPHIE**

[1] INRS – *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation.* ED 6106, 2020. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206106>

[2] INRS – *Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement.* ED 6273, 2021. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206273>

[3] NF ISO 16975-3 – *Appareils de protection respiratoire. Choix, utilisation et entretien – Partie 3 : Modes opératoires d'essais d'ajustement.* Afnor, 2018. Accessible sur : <https://www.boutique.afnor.org> (document payant).

[4] ARRÊTÉ DU 7 MARS 2013 relatif au choix, à l'entretien et à la vérification des équipements de protection individuelle utilisés lors d'opérations comportant un risque d'exposition à l'amiante – Article 2. Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr/](http://www.legifrance.gouv.fr/)

© Fabrice Dimier pour l'INRS/2022



# LES EXOSQUELETES SONT-ILS DES EPI ?

Face au questionnement régulier concernant le classement des exosquelettes dans la catégorie des EPI, cet article propose de considérer les critères permettant d'objectiver la spécificité de chacun de ces équipements.

LAURENT  
KERANGUEVEN  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

JEAN-JACQUES  
ATAIN-  
KOUADIO,  
LAURENT  
CLAUDON  
INRS,  
département  
Homme  
au travail

JEAN-  
CHRISTOPHE  
BLAISE  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

## Peut-on considérer les exosquelettes comme étant des EPI ?

Cette question est régulièrement posée à l'INRS. La réponse de l'Institut a été formalisée en 2018 dans le guide INRS ED 6295 (« 10 idées reçues sur les exosquelettes ») : « Pour qu'un exosquelette soit considéré comme un EPI, il faut que son fabricant ait démontré qu'il apporte une protection contre un risque et que l'équipement soit soumis à un "examen CE de type" effectué par un organisme notifié (...). » Ces éléments de réponse restent d'actualité. Cet article apporte des précisions étayées des définitions respectives d'un exosquelette et d'un EPI, pour conforter cette position auprès des acteurs de la prévention en entreprise.

## EPI versus exosquelette

Les EPI sont des dispositifs ou moyens destinés à être portés ou tenus par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa santé ou sa sécurité (article R. 4311-8 du Code du travail). Les EPI doivent être certifiés et répondre aux « exigences essentielles de santé et de sécurité » (EESS, issues du règlement (UE) 2016/425) qui leur sont applicables afin de garantir leur efficacité. À titre d'exemples, les casques de protection, les bouchons d'oreilles, les lunettes de protection, les gants, les chaussures de sécurité, les appareils de protection respiratoire, les équipements individuels de flottaison, les systèmes d'arrêt des chutes et les vêtements de protection (contre les produits chimiques, le feu...) sont tous considérés comme des EPI. En outre, les EPI ne doivent pas générer eux-mêmes de risques supplémentaires (article R. 4323-91 du Code du travail).

De leur côté, les exosquelettes sont des systèmes techniques, mécaniques ou textiles, revêtus par le travailleur au travers de contentions, qui visent à lui apporter une assistance physique très localisée dans l'exécution d'une tâche, par une compensation de ses efforts ou une augmentation de ses capacités motrices. Un exosquelette peut ainsi contribuer à la réduction du risque de survenue de



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2023

troubles musculosquelettiques (TMS), mais l'origine multifactorielle de ce risque nécessite une réflexion plus large.

## Protection versus assistance

Pour être certifié comme EPI, il est nécessaire de démontrer l'efficacité de l'équipement contre un risque seul ou contre une combinaison de risques. Or, si les EPI peuvent, dans des cas précis, limiter l'exposition à certaines contraintes biomécaniques telles que les efforts excessifs, les exosquelettes



commercialisés à ce jour ne permettent pas de limiter ou de supprimer l'exposition aux autres facteurs de risques de TMS, qu'ils soient de nature biomécanique, psychosociale, ou liés aux ambiances physiques. Par ailleurs, les EPI ne doivent pas être eux-mêmes à l'origine de risques supplémentaires. Or, l'usage des exosquelettes peut parfois générer de nouvelles contraintes (exemple : déplacement de certaines contraintes physiques sur d'autres parties du corps). Il conviendra de les évaluer et de les limiter au maximum. Enfin, les EPI doivent être appropriés aux conditions dans lesquelles le travail est accompli. Or, la nature et l'ampleur des bénéfices qu'apportent les exosquelettes dépendent non seulement de l'activité réalisée (posture de travail adoptée, charge manipulée, durée de réalisation de la tâche, etc.) mais aussi des caractéristiques individuelles de l'utilisateur et des caractéristiques techniques de l'exosquelette (points de contact, poids, raideur, etc.).

Par ailleurs, pour qu'un équipement soit reconnu comme EPI, il serait nécessaire de statuer sur la manière d'évaluer la diminution du risque associé à son usage. L'élaboration de normes qui fixent des méthodes d'essais et des exigences de performance serait alors nécessaire afin de certifier ces technologies. Le fabricant devrait alors respecter des règles techniques de conception et des procédures de certification strictes préalablement à la mise sur le marché.

Ainsi, en l'absence de réponse générique quant à l'efficacité de ces nouvelles technologies comme solution de prévention des TMS et sans cadre réglementaire spécifique, l'exosquelette ne peut, à ce jour, être considéré comme un EPI. D'ailleurs, une mise à jour récente (octobre 2023) du guide explicatif du règlement européen sur les EPI<sup>1</sup>

conforte cette position en précisant que « *les exosquelettes utilisés pour effectuer des tâches physiques avec moins d'effort en ajoutant de l'énergie supplémentaire ne sont en principe pas considérés comme des EPI* ». Toutefois, ce même document précise que « *compte tenu de la variété des produits sur le marché et de leur évolution rapide, une évaluation doit être effectuée au cas par cas* ». Une veille régulière du marché et du cadre réglementaire est donc nécessaire.

### Préconisations à l'usage d'exosquelettes

S'il n'est pas possible de garantir que les exosquelettes protègent contre un risque à proprement parler, ils peuvent cependant être considérés comme une solution d'assistance physique susceptible de trouver sa place au sein d'une démarche globale de prévention des TMS. Il est utile de rappeler, qu'en accord avec les neuf principes généraux de prévention définis par la réglementation (article L.4121-2 du Code du travail), la prévention des TMS s'appuie avant tout sur la mise en œuvre d'un ensemble de mesures de prévention collective (changements d'ordre organisationnel, acquisition d'aides techniques, réalisation d'actions de formation...). Si ces actions n'ont pas suffi à répondre aux besoins de l'entreprise en matière de prévention, le recours à une solution individuelle d'assistance physique telle qu'un exosquelette peut parfois s'envisager dans certaines conditions.

Comme pour tout équipement de travail, il est nécessaire de s'assurer que l'exosquelette est adapté à l'opérateur et aux spécificités de la tâche pour laquelle il est envisagé. Ainsi, les entreprises désireuses de s'équiper d'exosquelettes doivent s'appuyer sur une démarche d'intégration structurée, allant de la caractérisation des besoins des opérateurs en matière d'assistance physique jusqu'à l'intégration de l'exosquelette en situation de travail. La nouvelle norme Afnor NF X35-800<sup>2</sup> peut aider les entreprises à s'inscrire dans ce type de démarche. La mise en place de conditions permettant l'évaluation des usages de l'exosquelette et l'accompagnement de son acceptation par les opérateurs sont par ailleurs essentiels. Il en est de même concernant le suivi de l'intégration de l'exosquelette au cours du temps, notamment pour évaluer ses effets en termes de santé et de sécurité pour l'utilisateur et ses conséquences sur l'activité réalisée. ●

1. Guide to application of Regulation (EU) 2016/425 on PPE. Accessible sur : <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/56514>

2. Norme NF X 35-800 – Ergonomie. Méthode d'intégration des dispositifs et robots d'assistance physique à contention de type exosquelette. Expression des besoins, sélection, conception, évaluation et déploiement. Afnor, 2023.

## POUR EN SAVOIR +

- INRS – *Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise*. ED 6315, 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>
- INRS – *Repères méthodologiques pour la sélection d'un exosquelette professionnel*. ED 6416, 2021. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206416>
- INRS – *Exosquelettes au travail : impact sur la santé et la sécurité des opérateurs. État des connaissances*. ED 6311, 2018. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>
- INRS – *10 idées reçues sur les exosquelettes*. ED 6295, 2018. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206295>
- WIOLAND L. et al. – *Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes : évaluation par questionnaire. Références en santé au travail*, 2019, TF 274, pp. 49-76. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/publication.html?refINRS=NOETUDE%2FP2020-008%2FTF274>

PARIS - 14 NOVEMBRE 2024

# FORESIGHT

## FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

*Anticiper les transformations du travail  
pour prévenir les risques professionnels.*



Changement climatique, crises géopolitique et énergétique, développement de l'automatisation et du recours à l'intelligence artificielle... Comment ces évolutions vont-elles contribuer à transformer le travail dans les années à venir ? Avec quels impacts sur la santé et la sécurité des travailleurs ? Confrontés à la montée des incertitudes entourant les transformations du travail, plusieurs organismes de la prévention des risques professionnels ont engagé ces dernières années des démarches de prospective.

Ces travaux visent à anticiper les conséquences possibles des transformations économiques et sociales sur la santé et la sécurité des travailleurs dans le futur, afin de permettre l'adaptation des stratégies et démarches de prévention des risques professionnels.

Cette conférence internationale permettra de partager des résultats de travaux de prospective conduits par différents Instituts de santé et sécurité au travail et de débattre des usages qui en sont faits pour la préservation de la santé des travailleurs dans le futur.

**Maison de la RATP**  
**Espace du centenaire**  
89 rue de Bercy - 75012 Paris, France

**Inscription : [fosh2024.inrs.fr](https://fosh2024.inrs.fr)**  
**Contact : [fosh2024@inrs.fr](mailto:fosh2024@inrs.fr)**

En partenariat avec





# Études & solutions

## Notes techniques

Prévention des collisions engins – piétons :  
quelle place pour les systèmes d'avertissement  
ou d'évitement de collision ?  
P. 51

Réduction du risque HAP pour les procédés  
de traitement thermique : application  
à la cémentation gazeuse basse pression  
P. 58

## Étude de cas

Systèmes de masquage sonore en *open space* :  
une efficacité discutable  
P. 68

## Base de données

Exposition professionnelle  
aux substances chimiques et biologiques  
dans les territoires d'outre-mer :  
analyse des données de la base Colchic  
P. 76

## Notes techniques

# PRÉVENTION DES COLLISIONS ENGINS – PIÉTONS : QUELLE PLACE POUR LES SYSTÈMES D’AVERTISSEMENT OU D’ÉVITEMENT DE COLLISION ?

Les systèmes de détection des collisions engins – piétons font appel à des technologies en constante évolution. Cet article propose de mieux appréhender le rôle de ces dispositifs, dans une démarche globale de prévention de ce risque. Il s’adresse aux fabricants de dispositifs de détection, aux fabricants d’engins, aux intégrateurs de dispositifs de détection, ainsi qu’aux utilisateurs finaux pour la mise en œuvre de la technique choisie, en rappelant les principales exigences réglementaires et en attirant leur attention sur les limites de ces dispositifs et les conséquences de leur utilisation en termes de sécurité au travail.

---

DAVID  
TIHAY,  
PASCAL  
LAMY  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

CATHERINE  
JAROSZ,  
SANDRINE  
HARDY  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

---

### Contexte

Les accidents de personnes travaillant à proximité d’engins mobiles sont encore nombreux, malgré les progrès techniques accomplis sur les matériels mis sur le marché.

De fait, la prévention des collisions entre engins et piétons nécessite la mise en place de mesures organisationnelles et d’actions de formation et de sensibilisation à destination des conducteurs et des piétons. En complément, des mesures techniques, comme l’utilisation de dispositifs de détection d’objet, peuvent être envisagées. Ceux-ci peuvent contribuer à la réduction du risque de collision engins – piétons de deux manières :

- en avertissant le conducteur : il s’agit alors d’un système d’avertissement de collision, appelé CWS (*Collision warning system* ; Cf. Encadré 1) ;
- en assistant le conducteur lors des phases de ralentissement, d’arrêt ou de changement de direction de l’engin en présence d’obstacle : il s’agit d’un système d’évitement de collision, appelé CAS (*Collision avoidance system* ; Cf. Encadré 1).

La détection est assurée par des technologies en constante évolution. Aussi, l’utilisation de dispositifs de détection nécessite la mise à jour des connaissances techniques avec un éclairage différencié à l’attention des fabricants, intégrateurs et utilisateurs, quant à leur déploiement et aux précautions d’usage associées.

### Messages à destination

#### des fabricants de dispositifs de détection

Les dispositifs de détection, quelle que soit leur application prévue (d’avertissement ou d’évitement), doivent être conçus de façon à pouvoir assurer leur fonction dans toutes les conditions d’usage prévisibles. Cela suppose qu’ils résistent aux contraintes de service et aux influences extérieures, mais également qu’ils soient en capacité de détecter tous les objets et de distinguer, le cas échéant, les piétons, quelle que soit leur position (debout, accroupie...). Dans la mesure où les technologies visant à détecter et distinguer les objets et les personnes sont en développement permanent et où l’état de l’art ne permet pas, à l’heure actuelle, de garantir un niveau de fiabilité pour ces dispositifs, il est indispensable de caractériser de façon précise :

- leur aptitude à la fonction : cas de non-détections, limites d’usage... ;
- leurs caractéristiques de fiabilité : architecture, diagnostics, fiabilité des composants... ;
- les tests à réaliser pour s’assurer de leurs performances ;
- les actions à mener pour garantir leur maintien en état ;
- les informations relatives aux risques non couverts par ces dispositifs (par exemple : possible non-détection d’une personne habillée en noir lors de l’utilisation de scrutateur laser).



## RÉSUMÉ

La prévention des collisions entre des engins mobiles et des piétons est une problématique qui concerne un grand nombre de secteurs d'activité. Parmi les solutions mises en œuvre pour prévenir ces collisions, certains fabricants, intégrateurs ou utilisateurs optent pour des dispositifs de détection de personnes.

L'INRS, engagé de longue date dans l'étude de ces technologies en constante évolution, propose de faire le point sur les caractéristiques de ces dispositifs, leurs apports éventuels et leurs limites. L'article s'adresse plus particulièrement aux fabricants de dispositifs de détection destinés

à être intégrés dans un système d'avertissement ou d'évitement, aux fabricants d'engins et intégrateurs amenés à équiper un engin d'un système d'avertissement ou d'évitement, ainsi qu'aux entreprises utilisatrices d'engins désirant utiliser un tel système.

## PREVENTION OF VEHICLE-PEDESTRIAN COLLISIONS: WHAT ROLE DO WARNING SYSTEMS OR COLLISION AVOIDANCE SYSTEMS PLAY?

*Prevention of collisions between motorised vehicles and pedestrians is an issue in numerous activity sectors. Among the solutions implemented to prevent this type of collision, some manufacturers, integrators or users opt for pedestrian-detection systems. INRS, long committed to the study of this rapidly evolving*

*technology, presents a review of the characteristics of these systems, their possible contributions to safety and their limitations. More specifically, the article will be of interest to the manufacturers of the detection systems destined for integration into a warning or avoidance system, manufacturers*

*of motorised vehicles and integrators who fit vehicles with warning or avoidance systems, and companies using vehicles who wish to implement such systems.*



Toutes ces informations, essentielles aux futurs utilisateurs du dispositif (fabricant d'engin, intégrateur, utilisateur de l'engin...), devraient apparaître dans la notice d'instructions fournie avec le dispositif de détection.

Il est également essentiel que les fabricants des dispositifs de détection soient conscients de la nécessité d'améliorer leurs performances. Pour contribuer à cette amélioration, des retours d'expérience doivent être organisés, en collaboration avec les utilisateurs de ces dispositifs, afin de mieux les qualifier et d'identifier les points d'amélioration. À terme, l'idéal serait de pouvoir définir un niveau de fiabilité (aptitude à la détection, disponibilité du système, fiabilité, diagnostics...) et ainsi d'attribuer un statut de composant de sécurité qui permettrait de recourir à ces dispositifs en tant que dispositifs de protection destinés à la détection de personnes (Cf. Encadré 2).

### **Messages à destination des fabricants d'engins et des intégrateurs amenés à équiper un engin d'un système d'avertissement ou d'évitement** **Cas du système d'avertissement ou d'évitement intégré avant la mise sur le marché de l'engin**

Il convient que l'intégration du système soit réalisée par le bureau d'études du fabricant lui-même lors de la conception technique de l'engin. Cependant, il est possible que cette intégration soit réalisée par un tiers (importateur, distributeur) avant la mise sur le marché de l'engin.



Il est nécessaire de distinguer les systèmes d'avertissement des systèmes d'évitement (Cf. Encadré 3). En effet, le niveau d'exigence vis-à-vis de la sécurité est différent selon le système implanté.

#### → Dans le cas du système d'avertissement (CWS)

Aucune action sur le système de commande de l'engin n'est envisagée. Il s'agit d'un système d'avertissement de collision. Les principales exigences pour ces systèmes sont les suivantes :

- le signal d'avertissement ne doit pas prêter à équivoque et doit être facilement perçu ;
- l'opérateur doit pouvoir vérifier à tout moment le bon fonctionnement du système.

#### → Dans le cas du système d'évitement (CAS)

Une action sur le système de commande de l'engin est effectuée. La fonction d'arrêt ou d'évitement suite à la détection doit être conçue en tenant compte de l'évaluation des risques et du niveau de sécurité requis. Pour cela, il est recommandé d'utiliser des composants (dispositif de détection, actionneur..) présentant des caractéristiques de sécurité connues et suffisantes pour faciliter le calcul de la fiabilité (niveau de performance ou degré d'intégrité de sécurité) de la fonction réalisée (Cf. Encadré 4).

Afin de garantir un niveau de sécurité suffisant, il est nécessaire de :

- demander aux fournisseurs des composants

### ENCADRÉ 1

#### GLOSSAIRE (TERMES ET DÉFINITIONS)

• **Système d'aide visuelle** : système fournissant une visibilité indirecte sans dispositif avertisseur (cf. Norme NF EN ISO 16001:2017 – Engins de terrassement. Dispositifs de détection d'objets et d'aide visuelle. Exigences de performances et essais, § 3.2).

• **Dispositif de détection d'objets / Système de détection d'objets** : système permettant de détecter des objets, y compris des personnes, se trouvant dans la zone de détection et d'avertir le conducteur (cf. Norme NF EN ISO 16001:2017 – Engins de terrassement. Dispositifs de détection d'objets et d'aide visuelle. Exigences de performances et essais, § 3.1).

• **Dispositif d'avertissement de collision / Système d'avertissement de collision (CWS – Collision Warning System)** : système qui détecte les objets prévus dans la zone de risque de collision, détermine le niveau de risque de collision et fournit un avertissement à l'opérateur (cf. Norme ISO 21815-1:2022 – Engins de terrassement. Avertissement et évitement de collision. Partie 1 : Exigences générales, § 3.8).

• **Dispositif d'évitement de collision / Système d'évitement de collision (CAS – Collision Avoidance System)** : système qui détecte les objets prévus dans la zone de risque de

collision, détermine le niveau de risque de collision et fournit une action interventionnelle d'évitement de collision (cf. Norme ISO 21815-1: 2022 – Engins de terrassement. Avertissement et évitement de collision. Partie 1 : Exigences générales, § 3.9).

• **Mesure de protection** : mesure de prévention faisant appel à des moyens de protection pour préserver les personnes des phénomènes dangereux qui ne peuvent raisonnablement être éliminés, ou des risques qui ne peuvent être suffisamment réduits, par l'application de mesures de prévention intrinsèque (cf. Norme NF EN ISO 12100:2010 – Sécurité des machines. Principes généraux de conception. Appréciation du risque et réduction du risque, § 3.21).

• **Fonction de sécurité** : fonction remplie par une mesure de protection destinée à éliminer un risque ou, si cela n'est pas possible, à le réduire, et dont la défaillance pourrait entraîner l'aggravation de ce risque (cf. Règlement « Machines » 2023/1230/UE, chapitre 1, article 3,4).

• **Composant de sécurité** : composant physique ou numérique, y compris un logiciel, d'un produit relevant du champ d'application du présent règlement, qui est conçu ou prévu

pour assurer une fonction de sécurité et qui est mis isolément sur le marché, dont la défaillance ou le mauvais fonctionnement met en danger la sécurité des personnes, mais qui n'est pas indispensable au fonctionnement de ce produit ou qui peut être remplacé par des composants normaux permettant au dit produit de fonctionner (cf. Règlement « Machines » 2023/1230/UE, chapitre 1, article 3,3).

• **Intégrateur** : dans cet article, on entend par intégrateur, l'entité chargée de l'installation et du montage du dispositif de détection sur l'engin et de la mise en œuvre du système d'avertissement ou d'évitement. Cette intégration peut avoir lieu avant ou après la mise sur le marché de la machine. En fonction des situations, le rôle d'intégrateur peut être endossé par le fabricant de l'engin, le fabricant du dispositif de détection, l'importateur, le distributeur, le loueur, le revendeur ou l'utilisateur de l'engin lui-même.

Les normes sont accessibles sur :  
<https://www.boutique.afnor.org/fr>  
<https://www.iso.org/fr/>  
 (sites payants).

Le Règlement Machines 2023/1230/UE est accessible sur :  
[www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu)



- les informations de fiabilité (dispositifs de détection, actionneurs, logique de traitement) ;
- s'assurer que tous les composants constituant la fonction présentent des caractéristiques en adéquation avec le niveau de sécurité souhaité ;
- estimer la fiabilité de la fonction obtenue et s'assurer qu'elle est suffisante pour assurer la sécurité ;

#### ENCADRÉ 2

### EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES POUR LES DISPOSITIFS DE PROTECTION DESTINÉS À LA DÉTECTION DE PERSONNES

Les dispositifs de protection destinés à détecter la présence de personnes figurent dans la liste des catégories de machines (cf. Annexe IV, point 19 de la directive 2006/42/CE ; ou annexe I, partie B, point 15 du règlement 2023/1230/UE), pour lesquelles il faut appliquer une procédure particulière de certification avant qu'elles soient mises sur le marché. Par conséquent, lorsqu'ils sont mis isolément sur le marché et lorsqu'ils sont utilisés dans des fonctions de sécurité, ils doivent avoir fait l'objet au préalable d'un examen CE de type par un organisme notifié.

#### ENCADRÉ 3

### EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES POUR LES ENGINES

Les engins mobiles non routiers sont des machines et, à ce titre, ils sont soumis aux exigences essentielles de santé et de sécurité de l'annexe I de la directive Machines 2006/42/CE (ou de l'annexe III du règlement Machines 2023/1230/UE). Le fabricant de l'engin est responsable de sa conformité et doit s'assurer que les fonctions assurées par le dispositif de détection (avertissement ou évitement) respectent les exigences de l'annexe I de la directive, et en particulier :

- la règle technique relative à la visibilité (§ 3.2.1) :  
« La visibilité depuis le poste de conduite doit être telle que le conducteur puisse en toute sécurité, pour lui-même et pour les personnes exposées, faire fonctionner la machine et ses outils dans les conditions d'utilisation prévisibles.  
En cas de besoin, des dispositifs appropriés doivent remédier aux risques résultant de l'insuffisance de la vision directe. »
- la règle technique relative au dispositif d'alerte (§ 1.7.1.2) :  
« Si la machine est munie de dispositifs d'alerte, ils ne doivent pas prêter à équivoque et doivent être facilement perçus. Des mesures doivent être prises pour permettre à l'opérateur de vérifier que les dispositifs d'alerte fonctionnent à tout moment. »
- la règle technique relative à la fiabilité des systèmes de commande (§ 1.2.1) : lorsqu'un dispositif de détection intervient pour réaliser une fonction de sécurité, la fiabilité de cette fonction doit être assurée par conception (Cf. Encadré 4). Lorsque le fabricant appose le marquage CE et signe la déclaration de conformité de l'engin, il s'engage sur le respect de ces règles techniques.

- expliciter l'aptitude à la fonction de l'ensemble : cas de non-détections et limites d'usage ;
- donner les informations relatives aux risques résiduels.

L'aptitude à la fonction et les informations relatives aux risques résiduels sont des informations utiles aux futurs utilisateurs de l'engin et devront apparaître dans la notice d'instructions fournie.

Les dispositifs de détection étant en évolution permanente, une collaboration entre les fabricants d'engin et les fabricants des dispositifs est nécessaire afin de mieux qualifier les systèmes d'avertissement ou d'évitement proposés et d'identifier les points d'amélioration. À cet effet, des retours d'expérience pourront être organisés avec les utilisateurs finaux des engins (Cf. page 56).

L'installation du dispositif de détection étant réalisée avant la mise sur le marché de l'engin, la fonction d'avertissement ou d'évitement fait partie intégrante de la machine. Le fabricant engage sa responsabilité vis-à-vis de la conformité de l'ensemble de la machine incluant le système d'avertissement ou d'évitement.

#### Cas du système d'avertissement ou d'évitement intégré après la mise sur le marché de l'engin

L'intégration est généralement réalisée par un tiers (loueur, distributeur, revendeur, fabricant de l'engin, fabricant du dispositif de détection...). Il est toutefois possible qu'elle soit réalisée par l'utilisateur de l'engin lui-même après la mise sur le marché.

Les différentes mesures de réduction du risque, telles que celles visant à améliorer la visibilité (directe et indirecte) et la mise en œuvre de mesures organisationnelles peuvent, dans l'environnement réel de travail, laisser subsister des risques de collision engins – piétons. L'utilisateur peut alors envisager l'intégration sur l'engin d'un système de type avertissement ou évitement. Le dispositif de détection doit être choisi en fonction de sa destination.

Qu'il s'agisse d'implanter un système d'avertissement ou d'évitement, l'intégrateur doit respecter les exigences énoncées précédemment. L'implantation constitue une modification de l'engin, dont il endosse la responsabilité [1]. Pour l'aider à réaliser cette modification, l'intégrateur aura besoin de s'appuyer sur les parties prenantes suivantes : fabricant de l'engin, distributeur ou loueur de l'engin, fabricant du dispositif de détection, utilisateur final de l'engin. Il est indispensable que la mise en œuvre du système prenne en compte les caractéristiques techniques des composants, les préconisations d'installation et de montage de ces composants, les interfaces de connexion prévues sur l'engin pour ces composants, etc.

Dans tous les cas, l'intégrateur devra rédiger un dossier de modification et mettre à jour la notice d'instructions.

## ENCADRÉ 4

**EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES  
POUR LES FONCTIONS DE SÉCURITÉ**

Les fonctions de sécurité doivent être fiables (Annexe I, § 1.2.1 de la directive Machines 2006/42/CE ; ou annexe III, § 1.2.1 du règlement Machines 2023/1230/UE). Afin de concevoir des fonctions fiables, il existe deux normes européennes harmonisées, l'une définissant les niveaux de performance PL (cf. Norme NF EN ISO 13849-1:2023) et l'autre, les degrés d'intégrité SIL (cf. Norme NF EN IEC 62061:2021).

À l'issue de la modification, l'intégrateur, en collaboration avec l'utilisateur, devra effectuer une phase de réglages et d'essais, et définir les procédures de vérification pour la phase d'exploitation. Le conducteur devra être formé à l'utilisation de l'engin modifié.

**Messages à destination des entreprises utilisatrices d'engin désirant utiliser un système d'avertissement ou d'évitement**

**Hierarchie des mesures de prévention et place des dispositifs de détection**

Il convient, au préalable, de choisir un engin garantissant une visibilité maximale, ce qui permet

de contribuer à la prévention des risques de collision engins – piétons ; cela concerne la visibilité directe (par exemple, des engins disposant par conception d'une meilleure visibilité depuis le poste de conduite) et indirecte (ajout de dispositifs annexes comme des aides visuelles, de type caméra).

L'utilisateur doit également mettre en œuvre des mesures organisationnelles au sein de l'entreprise (par exemple, séparation des flux piétons et engins, ajout de miroirs aux intersections).

S'il subsiste des risques de collision, il est alors possible d'envisager l'utilisation de dispositifs de détection d'obstacles (objets ou personnes).

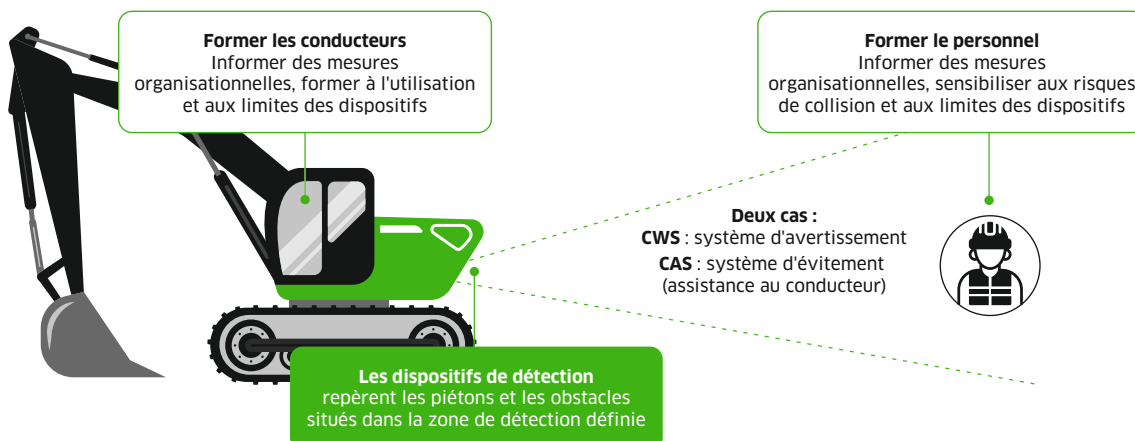
Ces dispositifs viennent en complément des mesures de prévention citées précédemment.

L'état de l'art relatif à ces dispositifs de détection montre qu'ils ne peuvent pas tous assurer un comportement fiable en toutes circonstances. Il est donc nécessaire d'être vigilant quant à leur utilisation, du fait notamment de l'aptitude limitée de certains à assurer la fonction de détection, mais également de leurs restrictions d'usage et de leur comportement en cas de défaillance. Comme ils ne sont pas toujours en mesure de fournir l'information nécessaire au système d'avertissement (CWS) ou d'évitement de la collision (CAS), ces systèmes ne doivent en aucun cas être considérés comme une mesure de protection (Cf. Encadré 2).

Ainsi, ils ne peuvent se substituer au conducteur qui, *in fine*, conserve seul la maîtrise de l'engin ; ils peuvent néanmoins contribuer à la réduction du risque de collision.

**Comment prévenir les risques de collision engins-piétons**

- Assurer une visibilité maximale au conducteur (directe ou indirecte)
- Mettre en place des mesures organisationnelles
- Mettre en place éventuellement des dispositifs de détection d'obstacles



Même si un dispositif de détection est utilisé, le conducteur doit rester vigilant et maître de l'engin.





### Comment choisir le dispositif ?

Les technologies mises en œuvre par ces dispositifs sont multiples (ultrason, laser, analyse d'images, radiofréquence...). Chacune présente des avantages et des inconvénients. Il n'existe donc pas de solution universelle. Avant d'opérer un choix, il est nécessaire de s'assurer de l'adéquation du dispositif avec la situation de travail et avec les contraintes liées à l'environnement. Par exemple, l'utilisation d'un dispositif radiofréquence, imposant le port d'un badge aux personnes à protéger, ne doit pas être envisagé sur un chantier ouvert.

La démarche structurée, décrite dans le guide publié par l'INRS [2], doit être appliquée. Elle débute par une analyse de la situation de travail : exprimer le besoin de détection pour choisir la solution technique la mieux adaptée à ses spécificités (conditions environnementales, coactivité...). Il est judicieux de retenir plusieurs modèles et, lorsque cela est possible, de prévoir une phase d'évaluation des dispositifs en conditions réelles, pour choisir celui qui sera le mieux adapté à la situation de travail.

Si aucun des dispositifs pressentis ne semble répondre de manière adaptée à la situation de travail, il est alors nécessaire de revoir le choix des mesures de prévention dans une démarche itérative. Spécifiquement, dans le cadre de la vérification de l'adéquation de l'engin au besoin de l'utilisateur (incluant la tâche et l'utilisation de l'engin dans son environnement), celui-ci devra vérifier que la fonction d'avertissement ou d'évitement de collision, dans laquelle le dispositif de détection est intégré, répond à ses attentes. L'utilisateur pourra également demander contractuellement au fabricant de l'engin à consulter le dossier technique et obtenir les informations pertinentes sur le système d'avertissement ou d'évitement mis en œuvre.

### Comment installer et régler le dispositif ?

Les phases d'installation, de réglages et d'essais ont pour objectifs :

- d'implanter correctement le dispositif sur l'engin : le dispositif doit être installé de façon robuste, notamment pour que des variations de sa position, qui pourraient modifier la zone de détection, ne soient pas possibles ;
- de paramétrer le dispositif en fonction des spécificités de la situation de travail et des contraintes liées à l'environnement. Cela permettra en particulier de régler les dimensions de la zone de détection en fonction de la vitesse de déplacement de l'engin ;
- de veiller à son appropriation par le personnel, tant conducteur que piéton : il importe d'informer les travailleurs sur l'objectif de cette phase d'essai, de les accompagner et de les former à l'utilisation du dispositif (rappeler les conditions d'utilisation et de maintien en bon état, ses limitations, les consignes en cas de détection).

La mise en place d'un retour d'expérience, dès l'installation, permettra de recueillir les remarques des utilisateurs (en particulier : les détections intempestives ou les non-détections, les besoins ou adaptations complémentaires telles que celle de la luminosité de l'écran) et de valider l'adéquation du dispositif au besoin de détection. La consultation et la prise en compte des retours des utilisateurs/opérateurs/conducteurs d'engins permet en outre l'acceptation du dispositif. Durant cette phase, d'éventuels ajustements pourront être apportés avant la phase d'exploitation et le retour d'expérience se poursuivra.

### Quelles vérifications en exploitation ?

Des procédures de vérification du bon fonctionnement du système d'avertissement ou d'évitement doivent être instaurées. Le conducteur de l'engin doit s'assurer que le dispositif est bien en place et opérationnel. Il doit également réaliser les essais décrits par le constructeur dans la notice d'instructions et, notamment, vérifier :

- le déclenchement effectif de l'avertisseur (sonore, visuel...) pour les dispositifs d'avertissement en présence d'un objet, d'une personne ou d'un marqueur dans la zone de détection ;
- le ralentissement ou l'arrêt de l'engin pour les dispositifs d'évitement de collision en présence d'un objet, d'une personne ou d'un marqueur dans la zone de détection ;
- la propreté des optiques en cas d'utilisation de caméras ;
- la charge des batteries pour les dispositifs qui en disposent.

Ces vérifications du bon fonctionnement seront réalisées à chaque prise de poste. Elles viennent en complément des vérifications générales périodiques de l'engin [3].

Une fois le dispositif en exploitation, il est nécessaire d'assurer son maintien en conditions opérationnelles, par exemple de vérifier la non-dégradation de la fixation du dispositif sur l'engin.

Pour les dispositifs incluant une partie logicielle, les mises à jour ne doivent être réalisées qu'après consultation du fabricant sur leur teneur. En effet, toute mise à jour logicielle peut avoir des impacts sur les performances du dispositif (temps de réponse, qualité de la détection...).

### Quelle vigilance face au risque d'habitation ?

L'utilisation d'un tel dispositif technique peut conduire à une modification des habitudes de conduite (baisse de vigilance, détournement de l'attention, confiance excessive dans le système) et plus généralement, des conditions de circulation dans l'environnement de l'engin (piétons, autres engins...). Il est essentiel que les travailleurs (conducteurs et piétons) restent malgré tout conscients

du risque de collision et qu'ils continuent à respecter les mesures de prévention déjà mises en place (organisation du travail par exemple). La visibilité directe reste prioritaire. Sur la base des informations recueillies auprès des conducteurs et des piétons, des actions de sensibilisation pourront être menées afin de rappeler la nécessité de maintenir un niveau d'attention et une vigilance suffisants.

## Conclusion

Les dispositifs de détection d'obstacles, tels que des personnes ou des objets, se développent rapidement et peuvent utiliser des technologies innovantes. Le recours à ces systèmes vient en complément des mesures de prévention que sont la visibilité et la mise en place de mesures organisationnelles. Les applications possibles de ces dispositifs de détection dans le cadre de la réduction des risques de collision engin – piéton sont l'avertissement (CWS) ou l'évitement (CAS). Selon l'usage prévu, le niveau d'exigence quant à leur aptitude à assurer leur fonction et leur niveau de fiabilité vont être différents. Dans le cas d'un système d'avertissement, il est principalement nécessaire de s'assurer que le signal d'avertissement fourni soit facilement perçu et qu'il ne prête pas à équivoque. Dans le cas de l'évitement de collision, l'information fournie par le dispositif de détection agit sur les commandes de l'engin. Il est donc nécessaire de recourir à un dispositif de détection dont les performances en termes de détection et de fiabilité sont connues et compatibles avec le niveau de risque à couvrir. ●

## POUR EN SAVOIR +

- Fiche INRS ED 6457 – *Organiser la prévention des risques de collision entre les engins et les piétons. Risques de collision entre les engins et les piétons.* Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206457>

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] **DIRECTION GÉNÉRALE DU TRAVAIL** – *Guide technique relatif aux opérations de modification des machines ou des ensembles de machines en service*, 2019. Accessible sur : [https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide\\_technique\\_machines\\_09\\_09\\_2019.pdf](https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_technique_machines_09_09_2019.pdf)
- [2] **INRS** – *Prévenir les collisions engins-piétons. Dispositifs d'avertissement*. Brochure ED 6083, 2015. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206083>
- [3] **INRS** – *Vérifications réglementaires des machines, appareils et accessoires de levage. Repères pour préventeurs et utilisateurs*. Brochure ED 6339, 2019. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206339>



## Notes techniques

# RÉDUCTION DU RISQUE HAP POUR LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT THERMIQUE : APPLICATION À LA CÉMENTATION GAZEUSE BASSE PRESSION

Afin de limiter l'exposition des opérateurs aux agents chimiques lors des opérations de cémentation gazeuse basse pression, notamment due aux émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont certains sont cancérogènes, l'INRS a mené une étude en associant plusieurs laboratoires scientifiques de l'université de Lorraine. Cet article en présente les principaux résultats.

HUBERT  
MONNIER,  
MATHIEU  
MARCHAL,  
JULIETTE  
KUNZ-IFFLI  
INRS,  
département  
Ingénierie  
des procédés

FATIMA  
MATAMOROS-  
MARIN  
Université  
de Lorraine,  
CNRS, LRGP,  
Nancy –  
Doctorante  
INRS

**D**e nombreux traitements thermiques de surface utilisent la pyrolyse d'hydrocarbure lorsqu'il est nécessaire d'enrichir un matériau en carbone. Dans le cas de la cémentation gazeuse basse pression, il s'agit d'augmenter la dureté superficielle de pièces métalliques afin de les rendre plus résistantes à l'usure et à la fatigue. Ce procédé se rencontre principalement dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, où les engrenages et les pignons ont besoin d'être renforcés [1]. Le carbone qui est introduit à la surface de l'acier provient d'un gaz riche en carbone comme le propane ou l'acétylène, chauffé autour de 900°C sous un vide partiel de 8 kPa. Les pignons ou les engrenages en acier sont placés dans un four où circule l'hydrocarbure gazeux. La haute température est nécessaire pour permettre la pyrolyse de l'hydrocarbure à la surface de la pièce, afin de libérer ses atomes de carbone qui vont diffuser au sein du métal [1]. Lors de cette réaction, une multitude d'agents chimiques dangereux sont aussi formés au sein de la phase gazeuse (Cf. Figure 1) [2]. Lorsque cette dernière rentre en contact avec une zone froide, des particules de suie, voire de goudrons, se forment et se déposent. Ces composés sont très concentrés en hydrocarbures aromatiques poly-cycliques (HAP), notamment en benzo(a)pyrène (B[a]P) qui est classé cancérogène avéré (groupe 1) par le Circ (Centre international de recherche sur le

cancer) [3]. Lors des opérations périodiques de nettoyage et de maintenance à l'intérieur des fours, les opérateurs sont donc susceptibles d'être exposés par inhalation, ingestion et voie cutanée aux HAP [4]. En l'absence de VLEP, la Caisse nationale d'assurance maladie (Cnam) recommande depuis les années 1980 de maintenir la teneur en B[a]P à une valeur inférieure à 150 ng/m<sup>3</sup> dans l'atmosphère de travail sur une durée de huit heures [5].

### Éclairage sur un risque professionnel

Les HAP sont composés uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène et constitués d'au moins deux cycles aromatiques condensés (Cf. Figure 2). Ce sont des composés toxiques pouvant présenter divers effets néfastes pour la santé : effets systémiques, reprotoxiques, génotoxiques et cancérogènes lorsqu'ils entrent dans l'organisme par voie pulmonaire, orale ou cutanée. Plus de 130 HAP sont aujourd'hui identifiés. Néanmoins, une liste restreinte, contenant les HAP les plus étudiés et dont la toxicité est la plus importante, est généralement considérée. Il s'agit de 16 HAP, contenant de deux à six cycles aromatiques, et considérés comme des polluants prioritaires par l'Agence de protection de l'environnement aux États-Unis (US-EPA), l'Ademe et le Circ. Au cours des deux dernières décennies, sept campagnes de mesures d'exposition aux HAP ont été réalisées par l'INRS sur quatre sites industriels. L'exposition des salariés a été évaluée grâce

## RÉSUMÉ

La cémentation gazeuse basse pression est un procédé de traitement thermique utilisé pour accroître la concentration en carbone à la surface des pièces métalliques. C'est aussi une source d'exposition et de pollution liée aux émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dont certains sont cancérigènes. Des campagnes de mesures de l'exposition professionnelle ont été menées par l'INRS

de 2012 à 2015. Elles ont montré que les activités professionnelles telles que la maintenance et le nettoyage des fours exposent les salariés à un risque chimique. Pour réduire la génération de ces composés, un consortium issu du partenariat entre l'INRS et des universitaires a proposé de modifier les protocoles opératoires utilisés par les industriels. Pour obtenir ce résultat, le consortium a modélisé le procédé dans son ensemble et

des protocoles optimisés ont été formulés. Les résultats obtenus sur un pilote industriel à partir de ces nouvelles conditions opératoires ont validé la méthodologie utilisée. Les solutions proposées permettent de réduire la quantité d'hydrocarbure utilisée, ce qui entraîne une diminution de la quantité de HAP générés, tout en garantissant la qualité des pièces cémentées.

### REDUCTION OF RISKS RELATED TO PAH IN HEAT TREATMENT PROCESSES: APPLICATION TO LOW-PRESSURE CARBURISING

*Low-pressure carburising is a thermal treatment procedure used to increase the carbon concentration at the surface of metallic parts.*

*It is also a source of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution, which can be carcinogenic.*

*Occupational exposure measurement campaigns were undertaken by INRS between 2012 and 2015.*

*They showed that professional activities such as maintenance and*

*cleaning of furnaces expose workers to chemical risks. To reduce production of these compounds, a consortium arising from a partnership between INRS and university researchers, suggested changes to the operational protocols used in industry.*

*To achieve this result, the consortium modelled the whole procedure and devised optimised protocols.*

*The results obtained on a pilot site in these new operating conditions*

*validated the method used.*

*The solutions proposed reduce the amount of hydrocarbon used, with a corresponding decrease in the amount of PAH generated, but without affecting the quality of the carburised parts.*

à des prélèvements de l'atmosphère de travail, des analyses de dépôts cutanés et des suivis urinaires [4-5]. Les résultats ont montré des niveaux d'exposition au B[a]P pouvant atteindre jusqu'à 100 fois la valeur recommandée par la Cnam [5-6].

Il était donc indispensable d'améliorer les conditions d'hygiène et de sécurité des salariés intervenant sur ce procédé. Par ailleurs, sur le plan environnemental, il était aussi important d'augmenter le rendement du procédé, car des quantités importantes d'acétylène sont rejetées dans l'atmosphère ; mais surtout, les dépôts de suie et de HAP fragilisent les parois du four (le *casing*) et sont des sources d'encrassement. Les opérations de nettoyage et de maintenance exposent en conséquence les travailleurs.

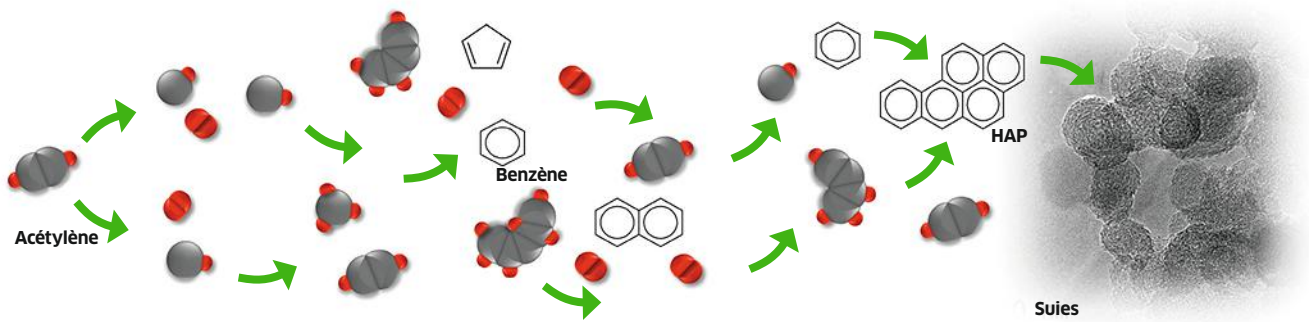
#### Démarche mise en œuvre

La cémentation gazeuse basse pression comporte deux phases pouvant être répétées plusieurs fois : une phase d'enrichissement, durant laquelle la surface de l'acier se sature en carbone grâce à l'apport en continu d'un gaz comme l'acétylène, et une phase de diffusion permettant au carbone de diffuser au sein de la pièce [7]. Durant cette seconde phase, un gaz inerte tel que l'azote circule à la place de l'hydrocarbure dans le four de cémentation. En effet,

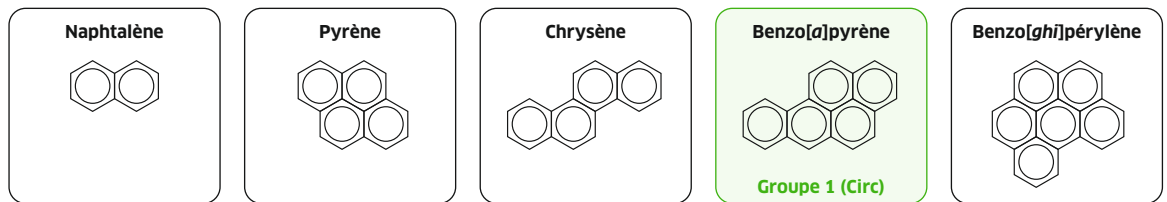
lors de la phase d'enrichissement, la surface des pièces métalliques se sature très rapidement en carbone. Il devient alors inutile de poursuivre l'injection d'acétylène, puisque celui-ci ne peut plus réagir à la surface pour libérer ses atomes de carbone. La gestion des cycles d'enrichissement et de diffusion s'effectue à l'aide de relations empiriques, appelées « recettes », propres aux constructeurs et dont la mise au point a exigé des temps de développement importants. Elles sont généralement déterminées par des méthodes expérimentales d'essai – erreur, dans lesquelles le principal critère à respecter est la dureté souhaitée de l'acier. Ces « recettes » représentent un savoir-faire. Pourtant, ce fonctionnement est loin d'être optimal, puisqu'il repose sur des données empiriques qui n'ont jamais été optimisées. La consommation d'acétylène, la génération de produits toxiques tels que les HAP, la formation de goudrons, la durée d'une cémentation, le nombre de cycles, etc., sont autant de paramètres que l'utilisateur se voit imposer à travers les « recettes » proposées. Le changement n'est pas impossible mais il doit être argumenté et, dans le cadre de ce travail, le procédé a donc été modélisé dans son ensemble afin d'être optimisé et validé à partir de données expérimentales obtenues sur pilote industriel.







↑ FIGURE 1 Illustration de la complexité du mécanisme de production d'agents chimiques dangereux et de suies lors du procédé de cémentation gazeuse basse pression [8-10].



↑ FIGURE 2 Exemples de formules semi-développées de HAP : naphtalène, pyrène, benzo(a)pyrène, etc.

### Un peu de chimie

Dans un premier temps, les réactions chimiques en phase gazeuse qui interviennent lors de la formation des HAP ont été étudiées pour proposer un mécanisme validé par des expériences de laboratoire [2, 8]. L'objectif a été de prédire la formation des espèces chimiques en fonction de paramètres tels que la température, la pression, le débit d'hydrocarbure. Un mécanisme cinétique détaillé de la pyrolyse de l'acétylène a été développé [2]. Plus de 300 espèces et un millier de réactions constituent ce mécanisme. Récemment, il lui a été rajouté la formation de suies pour prendre en compte la présence de goudrons et de particules solides à travers les trois étapes principales que sont la nucléation, la croissance et l'agrégation (Cf. Figure 1) [9].

Le modèle obtenu, appelé « mécanisme complet », est robuste et a été validé expérimentalement [8]. Il ne dépend pas du procédé ; ainsi, il peut être utilisé pour d'autres procédés de traitement thermique, dès lors qu'un hydrocarbure est pyrolysé comme dans les cokeries, ou lors d'opérations de densification de disques de carbone. Pour faciliter son utilisation par tous, le modèle a été réduit car, autrement, il nécessiterait un temps de calcul considérable. Cette simplification a consisté à supprimer les espèces et les réactions qui ont une influence négligeable sur les espèces ciblées. Le mécanisme final comporte 140 espèces et 444 réactions.

Les réactions du même type ont ensuite été regroupées. Cette approche a permis d'obtenir un mécanisme simplifié, comprenant 14 espèces et 18 réactions. La validation des différents mécanismes, complets et simplifiés, a été effectuée sur la base des fractions molaires des principales espèces – notamment l'acétylène, l'hydrogène et la fraction totale des HAP (Cf. Figure 3).

La Figure 3 montre que la concentration en acétylène diminue lorsque le temps de séjour augmente puisque l'hydrocarbure a davantage de temps pour se transformer. Si la concentration en hydrogène augmente avec le temps de séjour, les expériences montrent que celles des HAP décroissent après avoir augmenté dans un premier temps, pour former de la suie. La concentration en acétylène reste élevée dans tous les cas, près de 30 % d'acétylène n'étant pas utilisé (Cf. Figure 3). L'hydrogène est produit en grande quantité du fait de l'intégration de carbone dans le métal et de la formation des HAP [10].

Du benzène est également formé en quantité importante lors de ces opérations. Un très bon accord est observé entre tous les modèles et les résultats expérimentaux pour les espèces légères, comme l'acétylène et l'hydrogène. Cependant, la formation de HAP, bien que correctement prédite par le mécanisme détaillé et lors de sa première réduction, est surestimée lors de sa seconde réduction. Pour autant, si par la suite, le modèle avec 140 espèces et 444 réactions a été



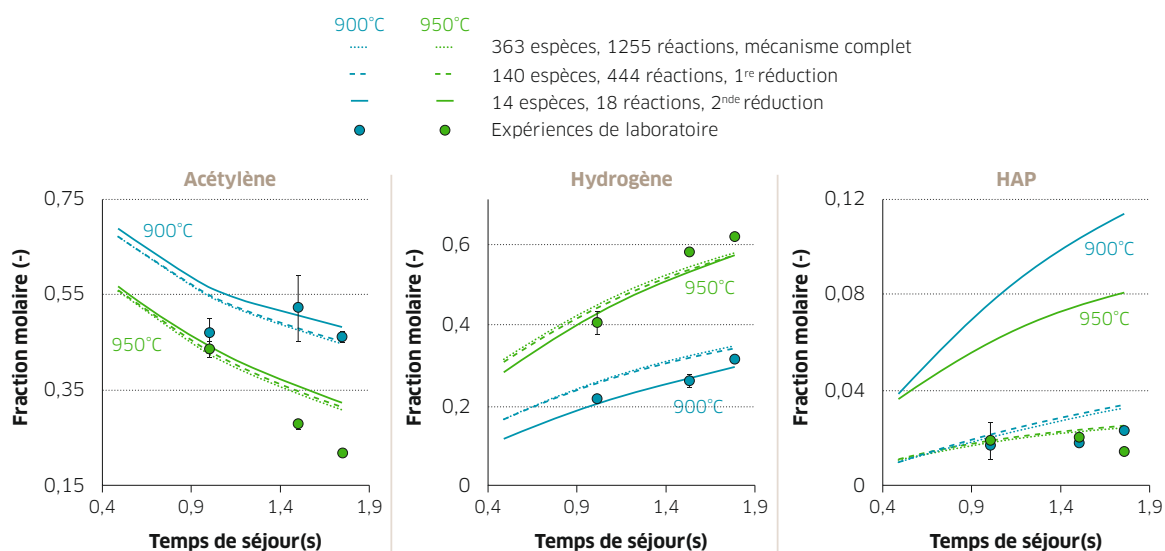
© Louis Martin pour l'INRS/2019

utilisé pour l'optimisation du procédé de cémentation, l'utilisation du modèle final, plus simple, permet d'obtenir de nombreuses informations sur des espèces formées de manière plus aisée, au service d'autres applications industrielles qui mettent en œuvre des opérations de pyrolyse d'hydrocarbures.

### Une modélisation pour prédire

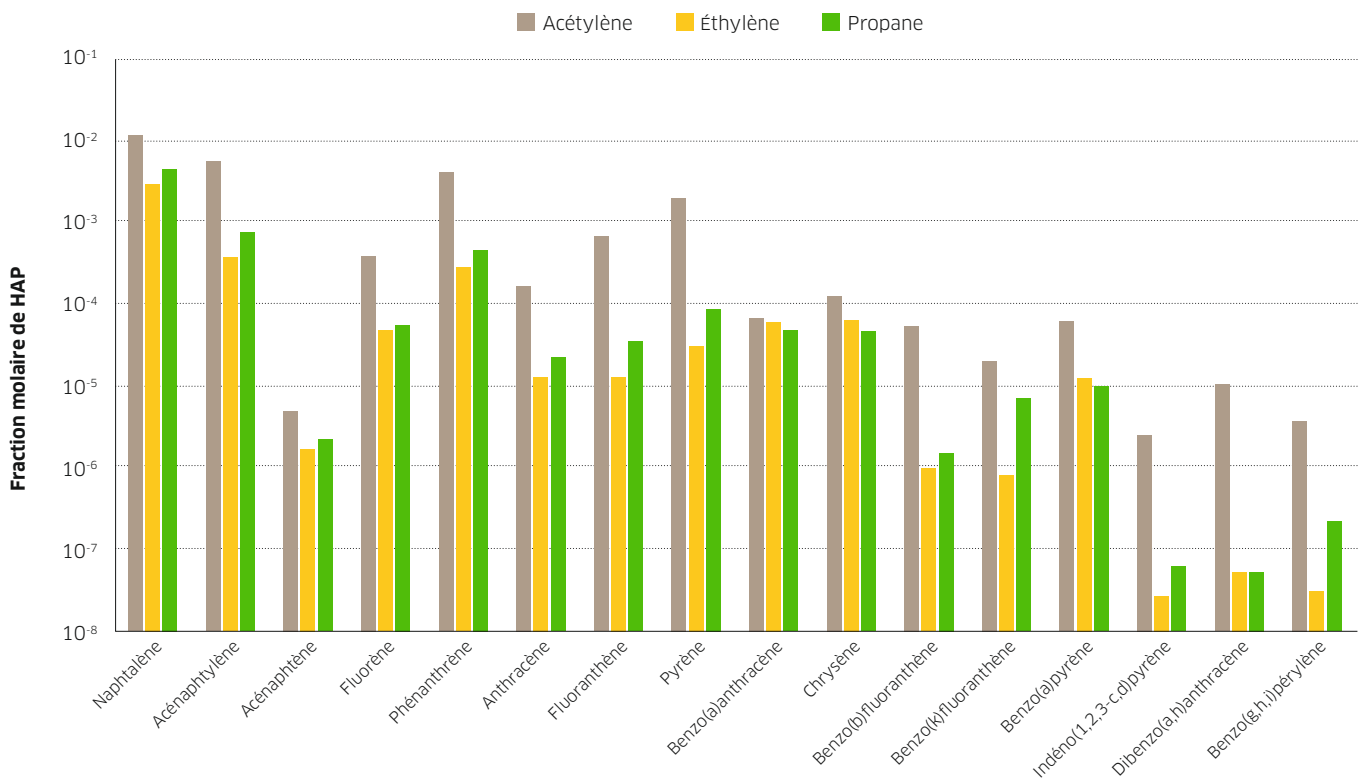
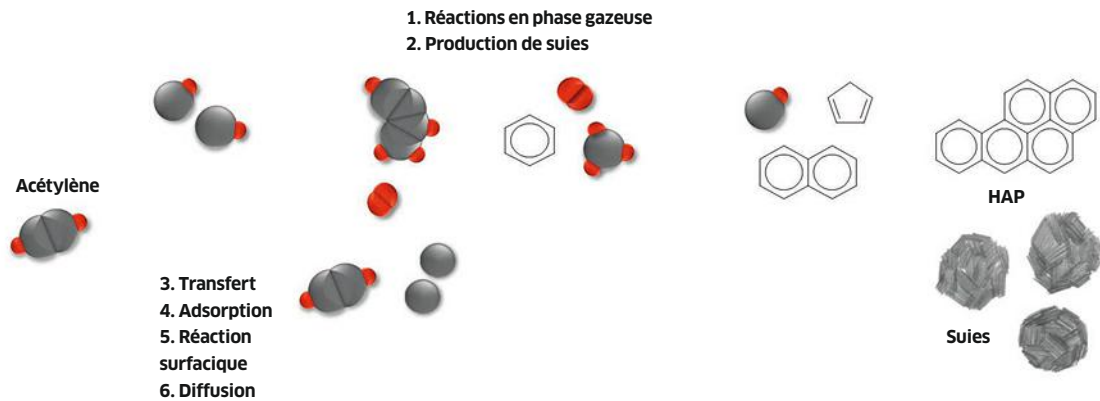
La cémentation gazeuse basse pression fait intervenir six étapes, illustrées sur la Figure 4. En plus des étapes 1. et 2., qui ont lieu au sein de la phase gazeuse, il faut rajouter le transfert de l'acétylène jusqu'à la surface de la pièce (3.), son adsorption à la surface de la pièce (4.),

Mise en place d'un réacteur dans un four tubulaire, lors de l'étude de l'INRS sur la cémentation gazeuse basse pression.



← FIGURE 3 Validation du mécanisme complet et de ses réductions à partir de données expérimentales de laboratoire à 900 °C et 950 °C : exemple de l'acétylène, de l'hydrogène et de la somme des 16 HAP du Circ. →

FIGURE 4 → Illustration simplifiée de la cémentation gazeuse basse pression (phase d'enrichissement) avec les six étapes modélisées.



↑ FIGURE 5 Influence du réactif (acétylène, éthylène et propane) sur la génération de HAP. Simulations effectuées à T = 900 °C, P = 8 kPa et temps de séjour = 1 s.

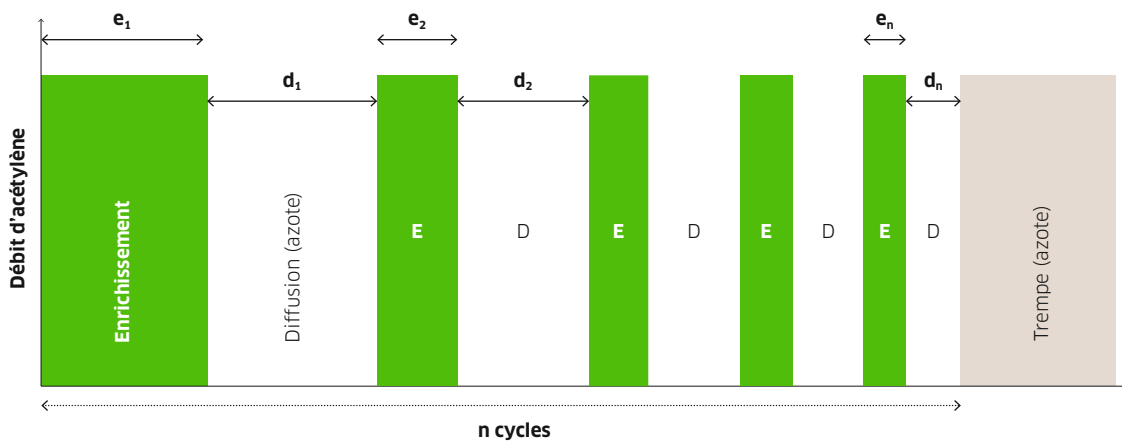
une réaction hétérogène de surface qui libère des atomes de carbone (5.) et la diffusion de ces derniers au sein de la pièce métallique (6.). Parallèlement à ces étapes, des réactions de décomposition thermique des espèces chimiques ont lieu en phase gazeuse (1.), jusqu'à la formation de HAP et de suies (2.).

Tous ces phénomènes ont été pris en compte dans l'établissement du modèle complet de la cémentation gazeuse basse pression et dans la formulation du problème d'optimisation [11]. Le transfert de l'acétylène jusqu'à la surface de la pièce et la diffusion du carbone dans la pièce métallique ont été modélisés par la deuxième loi de Fick. L'étape clé dans la modélisation de la cémentation basse pression repose sur l'interaction entre la phase gazeuse et la pièce métallique, qui a été modélisée par le mécanisme de Langmuir-Hinshelwood d'adsorption et de réaction de surface. Les résultats numériques fournissent le profil

de carbone dans la pièce en acier, ainsi que la composition chimique de la phase gazeuse, notamment celle en HAP en fonction du réactif utilisé (Cf. Figure 5). Les résultats des simulations montrent de prime abord que l'acétylène, comme produit cémentant, n'est pas le meilleur candidat, puisqu'il génère davantage de HAP que l'éthylène et le propane. Cependant, il faut tenir compte de la quantité de carbone qu'apporte une molécule d'acétylène. En effet, la teneur en carbone de la molécule d'acétylène est nettement supérieure à celle de la molécule de propane et d'éthylène. Ainsi, pour une même cémentation, la quantité d'acétylène nécessaire est plus faible.

### Vers une optimisation du procédé

L'optimisation du fonctionnement du procédé de cémentation gazeuse basse pression vise à minimiser la production de HAP et de suies, tout en maintenant



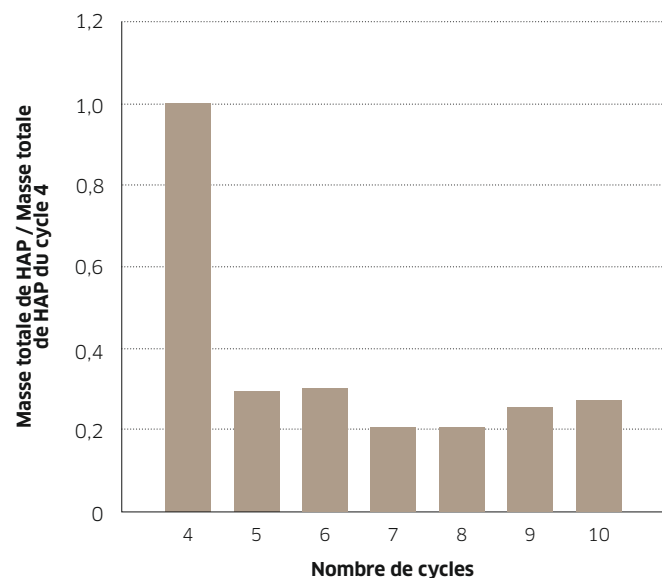
← FIGURE 6  
Pilotage  
du procédé  
et variables  
d'optimisation ;  
D et E  
correspondent  
respectivement  
aux étapes  
de diffusion et  
d'enrichissement,  
 $e_k$  et  $d_k$   
( $k$  compris entre  
1 et  $n$ )  
à leurs durées  
respectivement ;  
 $n$  = nombre  
de cycles.

les caractéristiques mécaniques des pièces métalliques [9]. Ce travail a été effectué avec l'acétylène comme réactif. Les variables sur lesquelles l'ingénieur peut agir afin d'atteindre les objectifs fixés sont les conditions opératoires du procédé. Il s'agit du nombre de cycles d'alimentation en gaz ( $n$ ), de la durée des étapes d'enrichissement ( $e_k$ ) et de diffusion ( $d_k$ ), et du débit d'entrée d'acétylène (Cf. Figure 6). Le débit d'acétylène est supposé constant lors d'une étape d'enrichissement. Il est remplacé par de l'azote pendant les phases de diffusion. La résolution du problème d'optimisation est complexe, puisque le nombre de cycles est directement lié aux durées des étapes d'enrichissement et de diffusion. Pour contourner cette difficulté, le nombre de cycles du procédé est fixé. Les seules variables de décision adoptées sont le débit d'acétylène et les durées des étapes d'enrichissement et de diffusion. Par conséquent, plusieurs calculs sont nécessaires avec un nombre de cycles différent pour tendre vers la meilleure solution.

Afin de garantir la qualité des pièces cémentées, une contrainte sur la réduction de la génération des composés toxiques et une contrainte sur la qualité (dureté) sont définies. La première contrainte consiste à garantir que la concentration de carbone à la surface de la pièce ne dépasse pas au cours du temps la valeur de saturation. En effet, lorsque la pièce est saturée en carbone à sa surface et que l'injection d'acétylène se poursuit, l'hydrocarbure injecté n'est d'aucune utilité pour le traitement thermo-chimique, et il y a formation de dépôts carbonés qui nuisent à la qualité de la pièce. La deuxième contrainte consiste à s'assurer que la dureté de la pièce souhaitée est atteinte. Dans cette étude, une dureté de 550 HV (dureté de Vickers) a été retenue, ce qui a été traduit par une valeur de 0,35 % en carbone à la surface de la pièce, dans une épaisseur de 0,1 mm [1]. Le problème d'optimisation a été résolu dans l'environnement Matlab pour proposer une recette optimisée.

### Recette et validation industrielle

Une partie des résultats des optimisations est présentée sur la Figure 7. En ordonnée, la masse de HAP



↑ FIGURE 7  
Modélisation  
du procédé :  
masses de HAP  
et de suies  
produites  
en fonction  
du nombre  
de cycles.

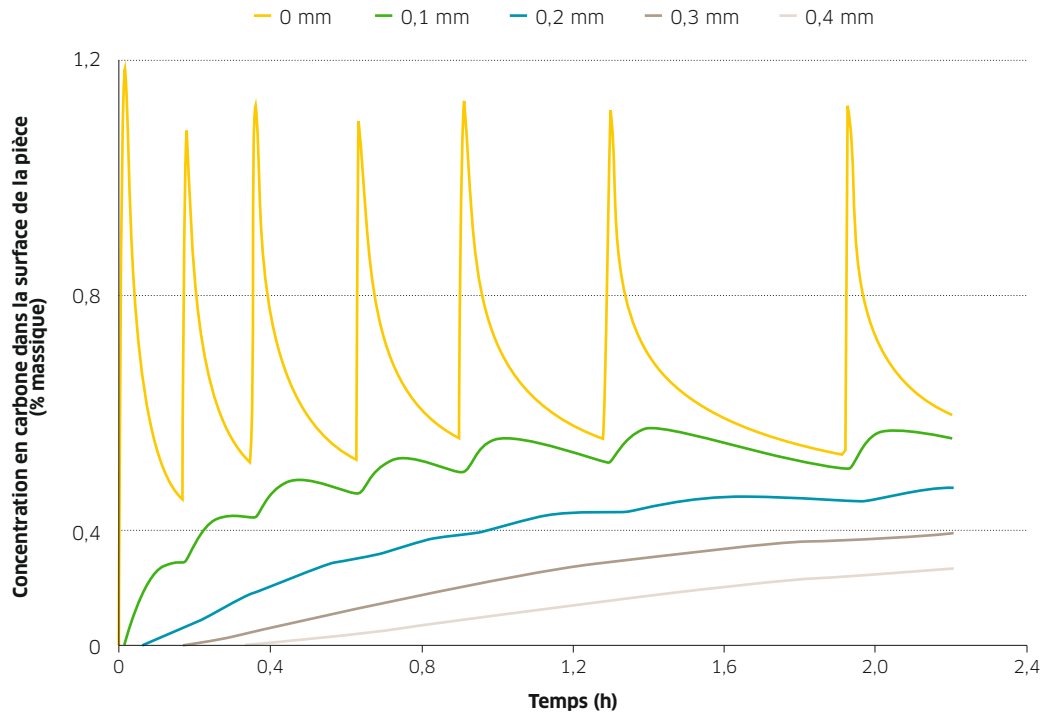
générée est normalisée par rapport au cas à quatre cycles. De manière générale, les résultats montrent qu'une augmentation du nombre de cycles a d'abord tendance à s'accompagner d'une diminution de la quantité de HAP générée. Ce résultat était attendu, puisque avec un nombre de cycles plus important, il y a une plus grande souplesse dans le choix des durées des étapes d'enrichissement et de diffusion, ainsi que d'alimentation en acétylène.

À partir d'un certain nombre de cycles, la tendance s'inverse. La quantité de HAP et de suies augmente. L'optimum dans cette étude correspond au procédé à sept cycles, qui représente une réduction de la masse de HAP et de suies de 36 % par rapport au cas nominal. Enfin, le profil de la concentration en carbone prévu avec la recette optimisée est présenté sur la Figure 8. Il est différent de ceux habituellement rencontrés en milieu industriel où l'injection d'acétylène se poursuit jusqu'à la saturation (1,2 % de carbone). Ici, ce n'est pas le cas (Cf. Figure 8 – courbe verte). D'une part, la recette optimisée rationalise la quantité d'acétylène utilisée en basculant





**FIGURE 8 →**  
 Profil de carbone en surface de la pièce métallique (0-0,4 mm) prédit par le modèle dans les conditions optimisées (sept cycles).



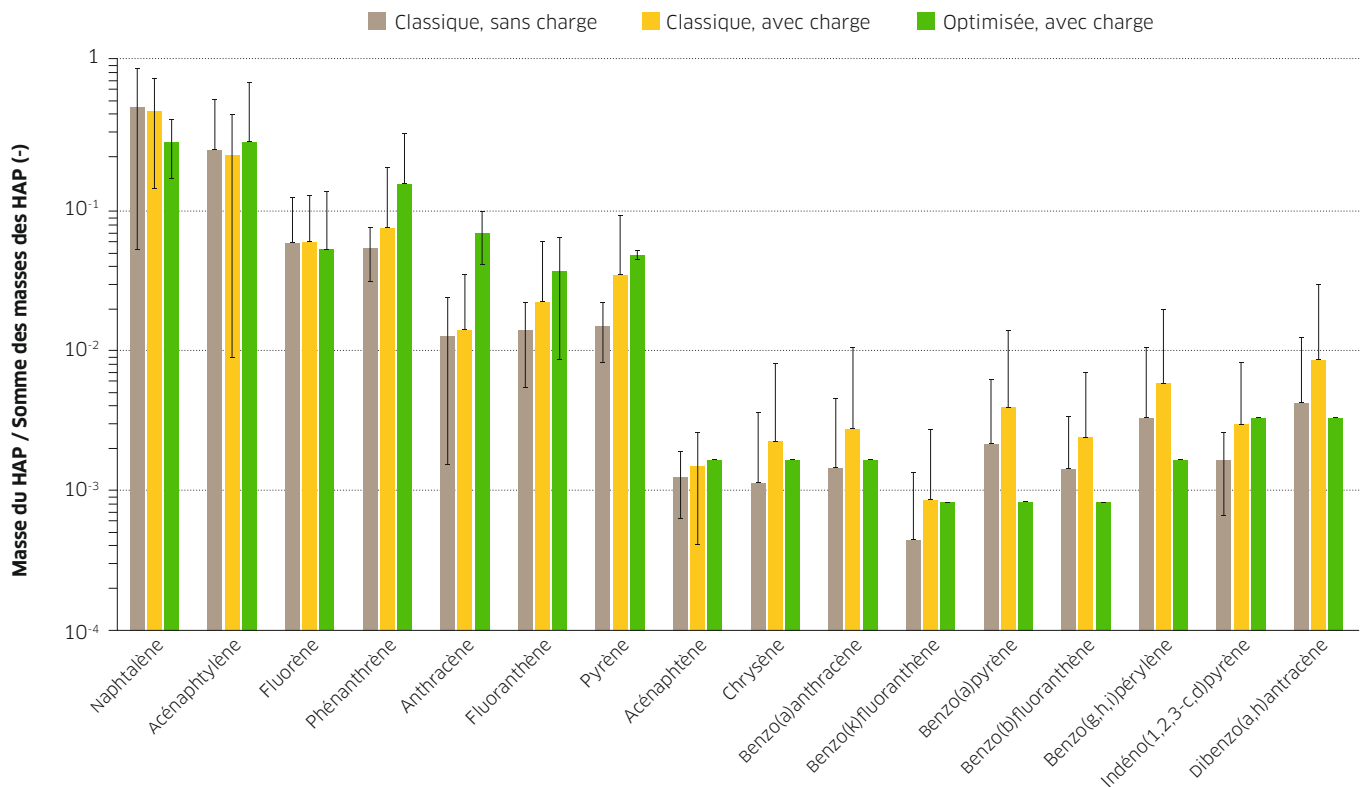
↑ FIGURE 9 Pignon de boîte de vitesse automobile en acier 23MCD5 :  
 (a) brut et (b) cémenté : m ~ 1,5 kg.

sur l'étape de diffusion avant la saturation de la surface en carbone et, d'autre part, elle permet de s'acquitter de la formation de dépôts carbonés à la surface de la pièce.

La cémentation de pièces en acier faiblement allié (23MCD5) a ensuite été réalisée dans un four de cémentation industriel muni d'une chambre de cémentation isolée par une enveloppe en graphite, d'une chambre de trempe faisant office de chambre de chargement, d'un système d'alimentation en gaz, et de capteurs de température et de pression [4]. Un système de prélèvement des gaz chauds a été ajouté à l'installation, afin d'effectuer une analyse chimique qualitative et quantitative, hors ligne à l'aide d'un spectromètre de masse (GC-MS).

Ce système se compose d'une tige d'échantillonnage en Inox et d'un piège à azote liquide, reliés à une pompe à vide [8, 10]. Pour empêcher l'oxygène d'entrer dans l'installation, de l'azote gazeux a été utilisé pour rendre inerte le système de collecte des gaz. L'ensemble est calorifugé.

Les expériences ont consisté à programmer les conditions de fonctionnement telles que la température, la pression, les débits d'entrée de gaz (acétylène et azote) et les durées d'enrichissement et de diffusion. Ensuite, 40 pignons métalliques (23MCD5) issus de boîte de vitesse d'automobile ont été numérotés et placés sur le support en graphite qui est introduit dans la chambre de chargement. Deux éprouvettes en acier ont été ajoutées au chargement. Dans l'industrie, ces dernières sont généralement utilisées pour contrôler la qualité de la cémentation car les essais de dureté endommagent

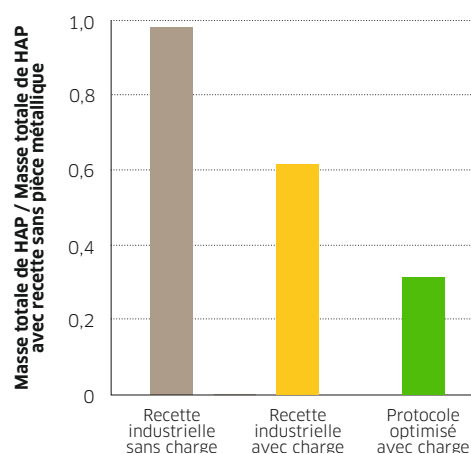


les pignons en acier. Neuf cémentations ont été menées : trois en l'absence de pignon (essai sans charge) et avec la recette utilisée par l'industriel, trois avec des pignons et la recette utilisée par l'industriel et trois avec des pignons et le protocole optimisé. Une photo d'un pignon de boîte de vitesse automobile avant et après cémentation se trouve sur la Figure 9.

Dans les neuf cas, un temps de 50 minutes est nécessaire avant d'entamer la cémentation, afin d'homogénéiser la température du four et des pièces. À la fin de la cémentation, les pièces métalliques subissent une trempe à l'azote de 15 minutes, sous 15 bars de pression. Le prélèvement des gaz générés s'est effectué tout au long de l'opération. Des essais de dureté de Vickers, une analyse de spectrométrie de masse à décharge lumineuse et la mesure du gain en carbone ont été réalisés sur les pièces en acier après cémentation. Les différents résultats analytiques obtenus sur l'ensemble des pièces des neuf cémentations ont permis de conclure que la recette optimisée satisfaisait les exigences industrielles, tout en consommant moins d'acétylène et en produisant globalement moins de HAP (qui ne sont pas formés ; cf. Figure 10) [13].

La Figure 10 montre la concentration massique des 16 HAP qui ont été échantillonnés lors des expériences avec les deux recettes. La quantification des mesures indique une bonne répétabilité pour les HAP les plus légers (naphtalène et acénaphthylène),

mais une très mauvaise répétabilité pour les HAP les plus lourds, comme l'illustrent les barres d'erreur, malgré un net recul de la génération de B[a]P. Des expériences supplémentaires méritent d'être réalisées afin de quantifier plus précisément ces espèces. Pour autant, la masse totale de HAP échantillonnée est plus faible avec la recette optimisée qu'avec la recette industrielle (Cf. Figure 11). Ceci s'explique par la nette diminution de la masse de naphtalène, qui est le HAP le plus léger et prédominant. Les résultats sont très encourageants du point de vue de la sécurité, puisque la quantité d'espèces toxiques, notamment les HAP, est réduite grâce à ce nouveau protocole.



↑ FIGURE 10  
Masse de HAP générée lors d'une cémentation : comparaison : comparaison entre une recette empirique industrielle et la recette optimisée, avec et sans charge.

← FIGURE 11  
Masse totale de HAP générée en fonction des conditions opératoires de la cémentation appliquée.

### Conclusion

Plusieurs mesures mises en œuvre pendant cette étude ont permis de réduire les expositions professionnelles sur les sites industriels qui y ont participé : la sensibilisation des opérateurs vis-à-vis du risque chimique provoqué par la génération de HAP, la prise de conscience des industriels et la mise en œuvre de mesures organisationnelles et d'actions de prévention, en particulier le port d'équipements de protection individuelle, respiratoires et cutanés adaptés. Mais des dépassements ont subsisté. Afin de réduire la génération de HAP, goudrons et suies, une approche couplant les outils numériques et l'expérimentation a été mise en œuvre. La méthodologie appliquée a permis de déterminer les conditions optimales de fonctionnement d'une cémentation basse pression, grâce à la modélisation des mécanismes des réactions chimiques à l'œuvre, aux expériences réalisées en laboratoire et sur pilote industriel, à la modélisation et à l'optimisation du procédé et, finalement, à la proposition d'un protocole industriel. Ce travail a permis de réduire la concentration en

HAP de plus de 30 % (moins 88 % en benzo[a]pyrène), et la consommation d'acétylène de 44 %.

Par la suite, des optimisations avec d'autres contraintes pourraient être effectuées. Par exemple, en réduisant la contrainte de la teneur maximale en carbone à la surface de la pièce, un autre profil de carbone ou une certaine quantité de carbone dans le métal. Dans tous les cas, ces contraintes de conformité devront être adaptées en fonction des spécificités souhaitées par les industriels utilisateurs de la cémentation. C'est pourquoi un partenariat avec un constructeur de four permettrait, à partir de prélèvements lors de cémentations programmées, de comparer les résultats du modèle aux conditions réelles observées dans ce four industriel. *In fine*, des recettes optimisées, basées sur une modélisation fine et une optimisation robuste, pourraient être proposées pour améliorer le traitement thermo-chimique de surface. En associant sécurité pour le salarié et qualité des pièces générées, cela représente assurément le levier le plus efficace pour améliorer la protection collective des opérateurs. ●

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] GANTOIS M., DULCY J. – Théorie des traitements thermo-chimiques – Cémentation. Carburisation. *Techniques de l'ingénieur*, 2024, M1 222. Accessible sur : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/traitements-thermiques-superficiels-et-thermo-chimiques-42501210/theorie-des-traitements-thermo-chimiques-m1222/>
- [2] BENSABATH T., MONNIER H., GLAUDE P.A. – Detailed kinetic modeling of the formation of toxic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) coming from pyrolysis in low-pressure gas carburizing conditions. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 2016, 122, pp. 342-354. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.09.007>
- [3] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ / IARC / CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE SUR LE CANCER – Polynuclear aromatic hydrocarbons, part 2: carbon blacks, mineral oils (lubricant base oils and derived products) and some nitroarenes. Lyon, Circ / Iarc Working group on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, 1984.
- [4] CHAMPMARTIN C., JEANDEL F., MONNIER H. – Maintenance of low-pressure carburizing furnaces: a source of PAH exposure. *Annals of work exposures and health*, 2017, 61, pp. 321-332. Accessible sur : <https://doi.org/10.1093/annweh/wxw024>
- [5] CHAMPMARTIN C., JEANDEL F., MONNIER H. – Traitements thermiques : recommandations pour limiter l'exposition aux HAP. *Hygiène & sécurité du travail*, 2015, 239, NT 27, pp. 60-65. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2027>
- [6] GENDRE C., LAFONTAINE M., MOREL Y. ET AL. – Relationship between urinary levels of 1-hydroxypyrene and 3-hydroxybenzo[a]pyrene for workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Polycyclic aromatic compounds*, 2002, 22, pp. 761-769. Accessible sur : <https://doi.org/10.1080/10406630290103915>
- [7] GOLDSTEIN A., PELISSIER L. – Procédé de cémentation basse pression. WO2002068707A1, 2002. Accessible sur : <https://patents.google.com/patent/WO2002068707A1/fr>
- [8] BENSABATH T., MONNIER H., GLAUDE P.A. – Acetylene pyrolysis in a jet-stirred-reactor for low pressure gas carburizing process. Experiments, kinetic modeling and mixing intensity investigations by CFD simulation. *Chemical engineering science*, 2019, 195, pp. 810-819. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.10.028>
- [9] MATAMOROS F., GLAUDE P.A., BOUNACEUR R., MONNIER H., LATIFI A.M. – Modelling and simulation of low pressure carburizing furnaces. In: PIERUCCI S. ET AL (Eds.) – *Computer-aided chemical engineering*. Elsevier, 2020, pp. 361-366. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823377-1.50061-6>
- [10] BENSABATH T., LE M.D., MONNIER H., GLAUDE P.A. – Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) formation during acetylene pyrolysis in tubular reactor under low pressure carburizing conditions. *Chemical engineering science*, 2019, 202, pp. 84-94. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.03.030>
- [11] ZAJUSZ M., TKACZ-SMIECH K., DANIELEWSKI M. – Modeling of vacuum pulse carburizing of steel. *Surface and coatings technology*, 2014, 258, pp. 646-651. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.023>
- [12] MATAMOROS-MARIN F., LATIFI A.M., GLAUDE P.A. ET AL. – Dynamic optimization of low-pressure carburizing furnaces. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Process Control*, 2021, pp. 72-77. Accessible sur : <https://doi.org/10.1109/PC52310.2021.9447496>
- [13] MONNIER H., BENSABATH T., MATAMOROS F. ET AL. – Traitements & matériaux. 2022, 475, p. 29. Accessible sur : <https://www.calameo.com/books/00163083467c977fb016e>

JOURNÉE  
TECHNIQUE

# BIOAÉROSOLS AU TRAVAIL

Mieux les comprendre  
pour les prévenir

**26**  
**NOVEMBRE**  
**2024**

En direct sur internet  
Inscription obligatoire

- Dans de nombreux secteurs professionnels, les travailleurs peuvent être exposés à des agents biologiques présents dans l'air et potentiellement pathogènes. Il est nécessaire de caractériser ces expositions pour mieux agir en prévention.
- La présence de bioaérosols aux postes de travail est peu prise en compte, elle concerne pourtant des atmosphères professionnelles diverses : milieux de soins, collecte et traitement des déchets, industrie agroalimentaire, traitement des eaux usées, etc.
- Cette journée technique, destinée à informer et à sensibiliser l'ensemble des acteurs de la prévention des risques professionnels, proposera un état des lieux des connaissances actuelles relatives aux bioaérosols :
  - De quoi parle-t-on ?
  - Quels sont les risques ?
  - Comment les mesurer ?
  - Quelles sont les solutions de prévention ?

Inscription : **[bioaerosols2024.inrs.fr](https://bioaerosols2024.inrs.fr)**  
Contact : **[bioaerosols2024@inrs.fr](mailto:bioaerosols2024@inrs.fr)**



## Étude de cas

# SYSTÈMES DE MASQUAGE SONORE EN OPEN SPACE : UNE EFFICACITÉ DISCUTABLE

PATRICK CHEVRET,  
LUCAS LENNE  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** En 2018, l'INRS a émis un communiqué de presse<sup>1</sup> pour alerter les entreprises sur l'utilisation des systèmes de masquage sonore dans les *open space*. En effet, des informations erronées circulaient sur l'efficacité de ces systèmes. Ce communiqué de presse ne présentait pas de justifications techniques, même s'il pointait vers des études réalisées par l'INRS.

Actuellement, il existe un regain d'informations sur les systèmes de masquage sonore, notamment auprès des décideurs ou des acheteurs en entreprises. Or, les données qui circulent sont souvent le fruit d'interprétations de résultats de publications existantes. L'INRS présente ici un argumentaire basé sur la littérature scientifique afin d'expliquer pourquoi il ne recommande pas ces systèmes.

### → LA RÉPONSE DE L'INRS

Une étude de l'INRS [1], basée sur des enquêtes auprès d'un millier de répondants travaillant dans une trentaine de bureaux ouverts d'entreprises françaises, a montré qu'un salarié sur deux déclare être gêné ou très gêné par le bruit ambiant : 51 % par les bruits de parole intelligible (cf. Encadré), 37 % par le bruit des conversations non intelligibles, 31 % par les bruits de passages, 34 % par les bruits de machines et 35 % par les sonneries de téléphone. La parole intelligible est donc perçue comme la source de bruit la plus gênante dans les bureaux ouverts.

Pour réduire la nuisance sonore due aux conversations intelligibles, des fabricants proposent d'installer dans les bureaux des systèmes de masquage sonore dont le principe est d'émettre, à l'aide de haut-parleurs, un bruit additionnel pour « couvrir » les conversations intelligibles. L'effet attendu est d'améliorer la confidentialité au poste de travail et de réduire la gêne et la distraction induites par un poste sur les postes voisins. Cet article se propose de faire un point sur le principe du masquage sonore, de faire une synthèse de ses effets sur l'intelligibilité de la parole et sur les effets extra-auditifs des bruits de conversation, et d'analyser l'intérêt de son utilisation dans les bureaux ouverts.

#### ENCADRÉ

#### L'INTELLIGIBILITÉ : ÉLÉMENTS DE COMPRÉHENSION

L'« intelligibilité » désigne le degré de compréhension d'un message verbal ou d'une forme de parole (selon le dictionnaire Larousse). Dans le questionnaire Gabo, la notion de « conversation intelligible » n'est pas précisément définie. C'est au répondant d'indiquer s'il entend des conversations qu'il juge intelligibles et d'indiquer à quel point elles le gênent. Exemples de questions :

- À votre poste de travail, vous entendez et vous comprenez clairement les conversations de vos collègues :  
(jamais -> en permanence)
- Vous diriez que ce bruit est gênant :  
(pas du tout -> tout à fait)
- À votre poste de travail, vous entendez des conversations de collègues que vous ne pouvez pas comprendre :  
(jamais -> en permanence)
- Vous diriez que ce bruit est gênant :  
(pas du tout -> tout à fait).

#### Principe du masquage sonore

Le masquage sonore est un phénomène acoustique que chacun a pu expérimenter au quotidien. Un exemple est celui de deux promeneurs conversant tout en approchant d'une chute d'eau. Alors qu'ils en sont encore éloignés, le bruit de l'eau est modéré et agit sur eux comme une sensation plutôt agréable, la conversation est aisée. Au fur et à mesure qu'ils se rapprochent, le niveau sonore augmente et couvre les conversations. Afin de pouvoir se comprendre, ils sont obligés de produire un effort vocal supplémentaire. Au pied de la chute d'eau, très bruyante, il leur est impossible de s'entendre malgré l'effort vocal important ; le niveau sonore devient même insupportable. Cet exemple illustre toute l'étendue de perceptions possibles que peut offrir un simple bruit selon qu'il

couvre ou non une conversation : d'une sensation agréable à une sensation désagréable, en passant par la perte d'intelligibilité.

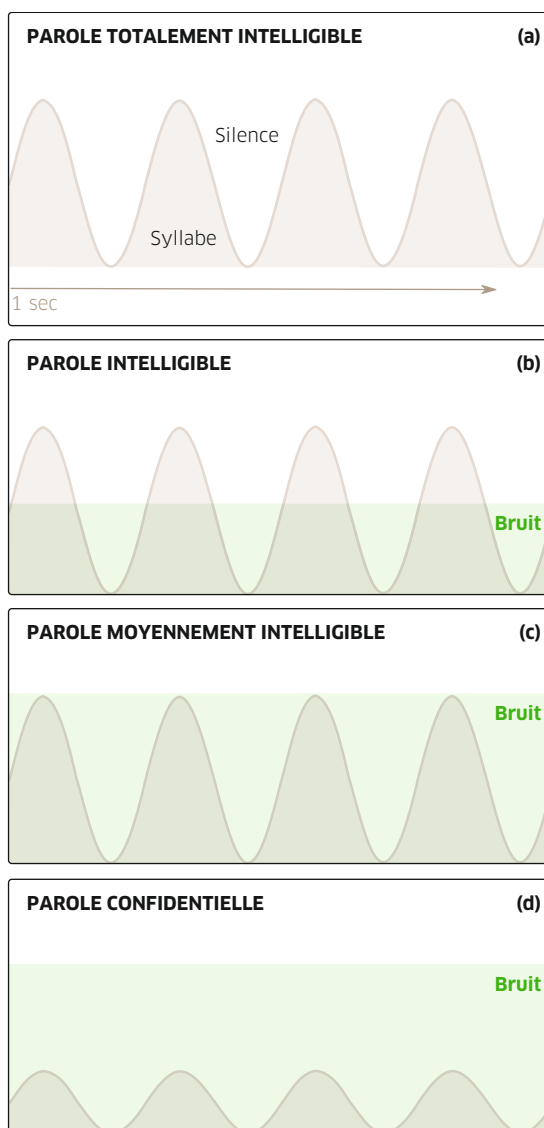
Les systèmes de masquage reprennent l'idée de la chute d'eau en émettant un bruit artificiel qui vise à réduire l'intelligibilité des conversations, sans pour autant devenir gênant. De façon très simplifiée, cette réduction d'intelligibilité peut s'expliquer physiquement comme une interaction énergétique entre le bruit de parole et le bruit de masquage<sup>2</sup>. La Figure 1 illustre cette interaction pour un signal de parole composé de quatre syllabes de même énergie. Sur la Figure 1a, il n'y a pas de bruit, les syllabes se détachent distinctement les unes des autres ; la conversation est clairement intelligible. Sur la Figure 1b, du bruit est présent avec une énergie égale à celle de la parole mais les syllabes émergent clairement de celui-ci ; la parole est encore intelligible. Lorsque l'énergie du bruit est deux fois supérieure à celle de la parole (Cf. Figure 1c), elle n'est alors que moyennement intelligible. Elle devient totalement inintelligible lorsque l'énergie du bruit est très supérieure à celle du bruit de parole (Cf. Figure 1d), ce qui est le cas lorsque les promeneurs de notre exemple se trouvent à proximité de la chute d'eau.

### Effets objectifs du masquage sur l'intelligibilité

La littérature scientifique permet d'objectiver le lien entre l'intelligibilité de la parole et le niveau relatif du bruit de masquage (différence entre le niveau de masquage et le niveau de la parole). La courbe de la Figure 2, produite à partir des données de la norme NF EN IEC 60268 16 (2020) [2], représente le nombre de mots généralement compris dans une phrase en fonction du niveau relatif de masquage. Il apparaît que lorsque ce dernier est proche de zéro (cas de la Figure 1b), le nombre de mots compris est de l'ordre de 80 %, ce qui correspond à une bonne intelligibilité. Lorsqu'il est égal à 3 dB (cas de la Figure 1c), le nombre de mots compris est de l'ordre de 50 % ; il est possible mais difficile de comprendre ce que dit le locuteur. Enfin, lorsqu'il est supérieur à 9 dB (Cf. Figure 1d), la parole du locuteur est alors totalement inintelligible. Un tel niveau de masquage permet d'assurer la confidentialité de la conversation.

### Masquage sonore et effets extra-auditifs du bruit de parole

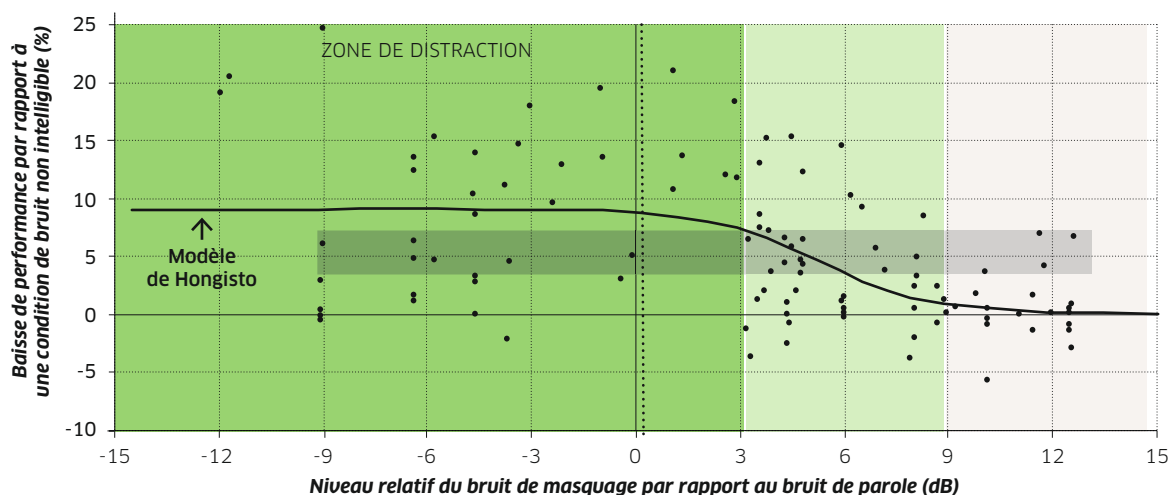
Un exemple d'effet extra-auditif du bruit de conversation : nous lisons et une conversation s'installe à côté de nous. Nous sommes alors distraits par celle-ci et perdons rapidement le fil de notre lecture, car les processus cognitifs engagés pour la lecture sont perturbés par le fort degré d'intelligibilité de la conversation. Si cette conversation est elle-même masquée par un bruit de fond,



← FIGURE 1 Masquage d'un signal de parole (en beige) : par du bruit, (en vert) ; sans bruit (a) ; l'énergie du bruit est sensiblement égale à celle de la parole (b) ; l'énergie du bruit est égale à 2 fois celle de la parole (c) ; l'énergie du bruit est très supérieure à celle de la parole (d).



↑ FIGURE 2 Intelligibilité en fonction du niveau relatif de bruit de masquage (selon la norme NF EN IEC 60268-16 [2]).



↑ FIGURE 3 Baisse de performance par rapport à une condition de référence (silence ou bruit de ventilation) lors de la réalisation d'une tâche, en fonction du niveau de masquage relatif. Les points sont produits à partir des données de Haapakangas et al. [3]. La ligne continue représente le modèle ajusté de Hongisto. La zone verte correspond aux conditions sonores pour lesquelles le bruit est gênant/distrayant pour les participants ; la zone vert clair, aux conditions pour lesquelles la gêne/distraction décroît significativement ; la zone beige, aux conditions pour lesquelles le bruit masquant permet d'assurer la confidentialité des conversations.

une chute d'eau par exemple, nous serons alors moins gênés et parviendrons à lire plus facilement, même si un effort mental reste nécessaire. Des expériences en laboratoire ont été réalisées dans le but d'objectiver l'effet sur la gêne de l'utilisation d'un bruit masquant une parole perturbatrice. En général dans ces expériences, la gêne est évaluée *via* la performance lors de la réalisation d'une tâche simple (mémoire sérielle<sup>3</sup>, lecture, calcul mental, etc.). Plus précisément, ces études évaluent la différence de la performance (ou décrement de performance) entre une condition sonore donnée (parole plus ou moins masquée) et une condition de référence (soit le silence soit un bruit continu de type ventilation). La Figure 3 est une compilation des résultats de ces expériences, réalisée en 2020 par Haapakangas *et al.* [3]. Cette compilation montre une grande dispersion des résultats<sup>4</sup>. Il est possible de lire notamment qu'un niveau de masquage relatif allant de -9 dB à +12 dB peut entraîner une baisse de performance de l'ordre de 5 % selon les expériences (zone grisée sur la figure). Malgré cette dispersion, un modèle de prédiction de la baisse de performance a été proposé par Haapakangas *et al.* (modèle ajusté de Hongisto [3], en trait continu sur la Figure 3). À partir de ce modèle, les auteurs ont défini une valeur de niveau de masquage relatif à partir de laquelle la performance commence à baisser significativement. Cette valeur a été fixée à 3 dB<sup>5</sup>. À noter que cette valeur de 3 dB correspond à 50 % d'intelligibilité d'après la Figure 2. D'une manière générale, une exposition longue à un bruit modéré se traduit par un ensemble de symptômes tels qu'une fatigue mentale accrue, du stress, des troubles du sommeil, des troubles cardiovasculaires [4]. Ainsi, une exposition longue à

des bruits de parole ne se limite pas à une simple gêne et à de la distraction.

Plusieurs études en laboratoire, notamment celles de Kostallari en 2019 [5] et de Lenne en 2022 [6], ont montré que la fatigue cognitive et la charge mentale augmentaient avec une exposition prolongée à de la parole intelligible, mais à ce jour toute quantification de ces effets en fonction du niveau d'intelligibilité est impossible à établir.

### Application aux bureaux ouverts

Une diminution de l'intelligibilité se traduit *in fine* – de manière incertaine du fait de la dispersion des données de la Figure 3 – par une baisse de gêne et de fatigue cognitive. Cependant l'application de ce phénomène aux bureaux ouverts, en utilisant des technologies de masquage sonore, pose plusieurs questions qui sont souvent éludées par les concepteurs :

- Le principe du masquage sonore est-il pertinent pour toutes les activités de travail ?
- Existe-t-il des recommandations pour le dimensionnement et l'installation d'un système de masquage sonore (niveaux sonores, signature acoustique, critère d'uniformité spatiale) ?
- Existe-t-il des recommandations pour la maintenance et le suivi de la conformité aux performances annoncées de tels systèmes ?
- Un système de masquage, peut-il se substituer à une action de correction du local basée sur des traitements utilisant des matériaux acoustiques ?

### Le principe du masquage sonore est-il pertinent pour toutes les activités de travail ?

La réponse est « non ». Le masquage sonore est utilisé pour rendre les conversations environnantes

inintelligibles. Il n'a donc de sens que lorsque les conversations ne servent pas à véhiculer une information utile entre les collaborateurs, comme sur un plateau où l'activité est en majorité non collaborative : centres d'appels ou services administratifs. Pour les activités où une bonne intelligibilité est nécessaire pour communiquer, le masquage sonore va contribuer à une augmentation du niveau sonore ambiant à cause de l'effet Lombard<sup>6</sup> avec le risque d'engendrer de la fatigue cognitive. Par ailleurs, lorsqu'un plateau regroupe plusieurs activités, le système de masquage doit être sélectif, c'est-à-dire être efficace à l'endroit des activités non collaboratives et discret dans les zones d'activités collaboratives.

### Existe-t-il des recommandations pour le dimensionnement et l'installation d'un système de masquage sonore ?

À ce jour, seul le guide américain ASTM E1374 de 2018 [7] fournit des recommandations sur le dimensionnement des systèmes de masquage pour les bureaux ; mais ces recommandations sont très générales. Le système doit :

- être composé d'un générateur de son aléatoire (typiquement un « bruit blanc », continu ou répétitif, similaire au bruit d'une radio réglée sur une fréquence inutilisée), d'un égaliseur (permettant d'ajuster la balance des fréquences), d'un amplificateur (permettant de régler le niveau sonore) et de haut-parleurs ;
- permettre de réaliser un niveau sonore uniforme dans l'espace de travail sans impacter la possibilité de communiquer ;
- permettre d'obtenir un niveau sonore minimum aux postes de travail ;
- inclure une phase d'acclimatation des occupants après la mise en marche du système.

Ces recommandations mettent en lumière trois points, décrits ci-après, et qui nécessitent une vigilance particulière.

#### → Le niveau sonore de masquage

Le guide recommande un niveau sonore minimum, mais ne précise aucune valeur. Il ne recommande pas non plus de niveau « plafond » au-dessus duquel le bruit de masquage pourrait devenir gênant pour les salariés. Les résultats d'études sur le terrain [8] et en laboratoire [9-10] indiquent que les niveaux sonores de masquage supérieurs à 45 dB(A) sont à considérer comme trop forts. En effet, ils peuvent stimuler l'effet Lombard, les personnes haussant la voix lorsqu'elles parlent en réaction au niveau sonore ambiant élevé. Ces niveaux peuvent aussi entraîner de la fatigue [11] et réduire les performances des salariés [12], surtout en cas de prépondérance des basses fréquences. Sur la base de ces résultats, une



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2019

recommandation pourrait donc être que le niveau sonore de masquage ne dépasse pas 45 dB(A)<sup>7</sup>.

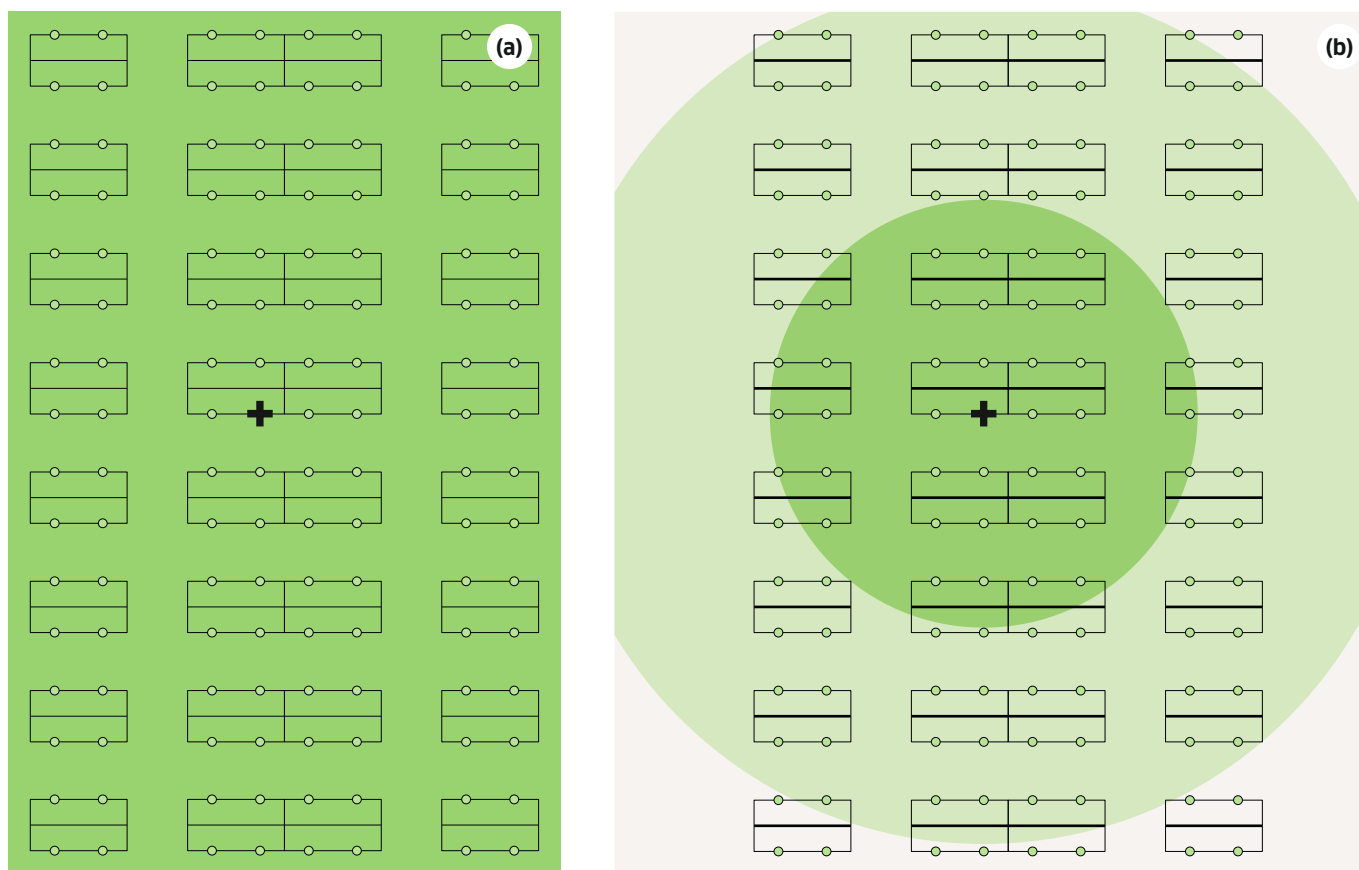
#### → La signature spectro-temporelle du signal de masquage

Les systèmes de masquage du commerce ne proposent pas tous le même type de signal de masquage. La répartition fréquentielle de l'énergie sonore a un effet sur la perception mais aucun critère n'est clairement établi à ce jour.

D'après Hongisto *et al.* [13], les sons avec une prédominance en basses et moyennes fréquences sont préférés par les salariés. À l'inverse, Lenne *et al.* [11] ont montré que des salariés exposés pendant plusieurs semaines à un système de masquage du commerce émettant un spectre à prédominance en basses et moyennes fréquences ne ressentaient aucun bénéfice et étaient même gênés par les composantes basses fréquences, les associant à du bruit de machine. La structure temporelle du signal de masquage doit aussi interroger : certains fabricants préconisent un signal dont le niveau s'adapte, en temps réel, au niveau de bruit ambiant (plus







↑ FIGURE 4 Illustration des zones de gêne/distraction pour une source sonore placée au centre d'un plateau. Conformément à la Figure 3, la zone verte représente la zone de distraction, la zone vert clair à la zone de baisse significative de la gêne, la zone beige à la zone de confidentialité. a) plafond de mauvaise qualité et cloisonnettes de hauteur 110 cm ; b) plafond de bonne qualité acoustique et cloisonnettes de hauteur 150 cm.

fort lorsque le bruit ambiant est fort, et plus faible dans le cas contraire, tout en restant inférieur à une valeur « plafond »[14], d'autres utilisent un signal stationnaire. La plupart des fabricants utilisent des bruits artificiels de type « bruit blanc » ; certains proposent également des systèmes qui diffusent des signaux imitant des sons naturels (bruit de cours d'eau, de forêt, etc.), arguant qu'ils sont mieux acceptés que les bruits artificiels. Les bénéfiques supposés de ce type de restitution sonore présentent un caractère très subjectif car ils reposent davantage sur des considérations individuelles ou culturelles.

Le guide ASTM E1374 [7] reste sur la recommandation d'un signal de masquage aléatoire (bruit blanc, par exemple). Il recommande également une phase d'augmentation progressive du niveau sonore de plusieurs jours après sa mise en marche afin que les personnes s'habituent au bruit émis. Cela suggère implicitement que l'utilisation de ce système peut causer une gêne, au moins dans les premiers temps d'utilisation.

#### → L'uniformité spatiale du champ acoustique

Le guide ASTM [7] recommande des systèmes constitués d'un générateur de son aléatoire, d'un

amplificateur, d'un égaliseur et de plusieurs haut-parleurs installés, en général, dans le faux plafond du local et orientés de sorte à garantir l'uniformité spatiale en niveau et en fréquences. En laboratoire, dans une salle anéchoïque<sup>9</sup> par exemple, il est assez facile de contrôler le niveau sonore et le spectre au voisinage des oreilles d'une personne. En entreprise, le champ sonore dépend fortement de l'aménagement intérieur. Le nombre et la position des haut-parleurs doivent être définis au cas par cas à l'aide d'une étude prévisionnelle avant l'installation du réseau. Une vérification et un ajustement sur site sont aussi nécessaires après installation<sup>9</sup>. En cas de modification significative de l'aménagement, une vérification des niveaux sonores aux postes de travail doit être effectuée. Si les niveaux ont changé par rapport à la configuration initiale, une nouvelle étude prévisionnelle doit être réalisée et une modification des niveaux et de la disposition des haut-parleurs doit être envisagée.

À noter que certains fabricants proposent des systèmes individuels contrôlables par le salarié qui ne dispose généralement pas de connaissances sur la complexité des effets extra-auditifs du bruit. Par exemple, il peut vouloir augmenter le niveau de masquage pour son propre « bénéfice » et créer

une gêne pour ses voisins. De plus, ces systèmes ne permettent pas de garantir l'uniformité du champ ; ils ne s'inscrivent donc pas dans le champ des recommandations du guide ASTM.

### Existe-t-il des recommandations pour la maintenance et le suivi de la conformité aux performances annoncées ?

Comme tout système électronique, une dérive, voire un dysfonctionnement peut apparaître avec le temps. Il est donc indispensable de procéder à un contrôle en continu du système, au moyen de microphones à demeure ou *a minima* d'une vérification régulière dont la fréquence reste à déterminer. En cas d'ajustements nécessaires, un logiciel de prévision acoustique sera d'une grande utilité. Ce qui devra être également le cas si l'aménagement intérieur est modifié car la répartition du champ sonore dépend de ce dernier. Il est aussi nécessaire de prévoir une mise en sécurité en cas de défaillance du système.

### Un système de masquage peut-il se substituer à une action de correction du local basée sur des traitements utilisant des matériaux acoustiques ?

En aucun cas, et cela peut s'expliquer à l'aide du modèle de Hongisto [3]. Selon ce dernier (avec toutes les réserves émises précédemment), le masquage a un effet significatif sur la gêne ressentie si son niveau sonore est supérieur d'au moins 3 dB à celui du niveau de la parole. Sachant que le niveau de masquage ne doit pas dépasser 45 dB(A), il ne sera efficace que pour des bruits de parole de niveau sonore inférieur à 42 dB(A). Un tel niveau n'est atteignable, pour un effort vocal normal, que lorsque le local est très bien traité acoustiquement (ce qui tend alors à rendre le masquage sonore inutile).

Les illustrations de la *Figure 4* permettent de mieux se représenter l'efficacité attendue d'un système de masquage sur un plateau. Deux situations de bureau avec un bruit de masquage à 45 dB(A) sont représentées : un plateau (vu de dessus) avec un plafond de mauvaise qualité et des séparations de faible hauteur entre les postes de travail (110 cm depuis le sol) ; le même plateau avec un plafond de bonne qualité acoustique et des cloisonnettes de bonne hauteur (150 cm depuis le sol). Sur les illustrations, chaque cercle de couleur autour de la source de parole (croix noire) correspond à une zone de la *Figure 3* : zone verte pour la zone de distraction, zone vert clair pour la zone de baisse significative de la gêne, zone beige pour la zone de confidentialité. Dans le cas où les cloisonnettes sont de faible hauteur (Cf. *Figure 4a*), la zone de distraction s'étend à tout le local, le système de masquage ne parvient pas à réduire la gêne liée à la source sonore. Dans le cas où le plafond est de bonne qualité et où les cloisonnettes sont élevées

(Cf. *Figure 4b*), le système de masquage « protège » au-delà d'une distance de 5 mètres du locuteur (zones vert clair et beige). Pour les postes voisins, il n'apporte rien.

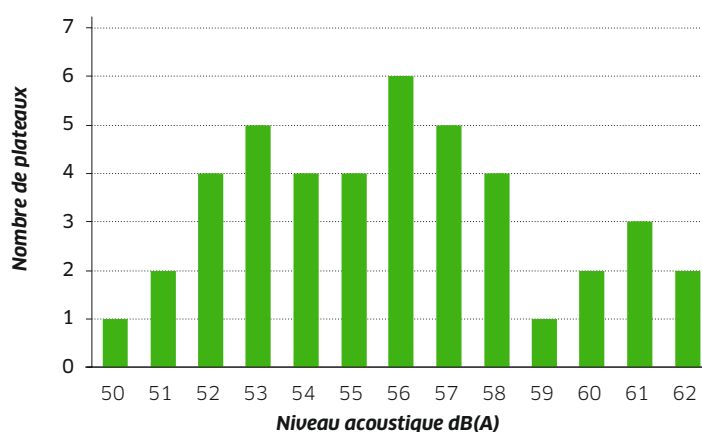
Comme le montre la *Figure 5*, les niveaux de bruit ambiant en activité mesurés par l'INRS depuis 2010 ont toujours été nettement supérieurs à 45 dB(A). Il est donc très probable que le bruit de masquage soit la plupart du temps couvert par le bruit ambiant du bureau.

En conclusion, l'efficacité du masquage sonore est réduite aux plateaux très bien traités acoustiquement. Il n'apporte rien lorsque le niveau de bruit ambiant est supérieur à 45 dB(A), ce qui correspond à la plupart des situations.

### Conclusion

Depuis quelques années, on voit apparaître dans les bureaux ouverts en France des systèmes de masquage dont l'objectif est d'améliorer la confidentialité aux postes de travail et de réduire la distraction et la gêne induites par un poste de travail sur les postes qui l'entourent. Les technologies proposées sont dépendantes des fabricants car, excepté les recommandations générales du guide américain ASTM E1374 [7], il n'existe aucune recommandation précise concernant les données de fonctionnement, l'installation et le suivi. Par ailleurs, il n'existe à ce jour aucun consensus sur l'efficacité de ces systèmes en condition réelle [15]. Deux études de terrain ont montré des résultats en grande partie concordants à l'issue de l'utilisation du même système de masquage. La première [11] n'a pas permis de montrer d'effet positif du système après six mois d'utilisation, la seconde [12] n'a pas davantage mis en évidence d'effets sur la fatigue cognitive et la charge mentale, ainsi que sur la performance des salariés ou la productivité après deux mois d'utilisation, même si une réduction du stress et une amélioration de l'humeur ont été observées<sup>10</sup>.

↓ FIGURE 5  
Niveaux de bruit ambiant mesurés par l'INRS depuis 2010 dans des bureaux ouverts.



Pour toutes ces raisons (incertitude des effets sur le terrain, contraintes d'installation et de suivi), l'INRS ne recommande pas le déploiement dans l'entreprise d'un système de masquage car il pourrait s'avérer d'une faible efficacité, voire contre-productif et coûteux. En revanche, l'INRS recommande d'appliquer la démarche de prévention détaillée dans la note ED 6402 [16] qui permet d'apporter des solutions simples aux exigences de qualité acoustique d'un espace de bureaux ouverts. ●

1. Communiqué de presse de l'INRS. 2018. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/header/presse/cp-prevention-bruit.html>.

2. La réduction de l'intelligibilité peut être due à d'autres phénomènes que le simple masquage énergétique : le masquage informationnel, des phénomènes de distorsions temporelles comme la réverbération ou des phénomènes non linéaires. Le masquage énergétique est le phénomène le plus courant et sans doute le plus important dans le contexte du masquage sonore dans les bureaux ouverts.

3. Dans une tâche de mémoire sérielle à court terme, les participants mémorisent une liste d'items (par exemple des mots), présentés l'un après l'autre. Puis l'ensemble des mots sont représentés dans un ordre aléatoire et les participants doivent reconstruire l'ordre initial de présentation.

4. Cette dispersion est très certainement liée à des différences dans les conditions de réalisation des expériences (conditions sonores, tâches réalisées, etc.).

5. La norme NF EN ISO 3382-3 (2022) [17] définit quant à elle la distance de distraction, notée  $r_D$ , comme la distance dont il faut s'éloigner d'un locuteur pour que le niveau relatif du masquage soit égal à 0 dB. Cette définition s'appuie sur les seules expériences de mémoires sérielles.

6. L'effet Lombard est un réflexe naturel qui consiste à modifier son élocution dans un environnement bruyant. Lorsque le niveau sonore s'élève, l'effet Lombard se manifeste par un effort pour parler plus fort afin de se faire comprendre, conduisant à une élévation supplémentaire du niveau sonore.

7. Il n'existe pas de consensus scientifique sur un « niveau maximum » de son émis par ces dispositifs. Du point de vue de l'INRS, ne soutenant pas l'utilisation de ces systèmes, la recommandation la plus utile du point de vue de la prévention, est de ne pas les utiliser.

8. Une salle anéchoïque est une salle traitée acoustiquement avec des dièdres en mousse qui absorbent le son sur une large bande de fréquences, de sorte à créer un environnement sonore de champ libre (sans écho). Ce type d'environnement permet de contrôler le niveau sonore et le spectre à une position souhaitée dans la salle.

9. Le guide américain ASTM E1573 [18] propose une méthode de mesurage des niveaux sonores produits par le système de masquage. Ce guide est en anglais et demande un niveau d'expertise élevé.

10. À noter sur cette étude que la période d'observation a été entrecoupée des fêtes de fin d'année, qui peuvent avoir « une influence sur l'humeur des gens, leur stress et leur fatigue ».

## BIBLIOGRAPHIE

[1] PIERRETTE M., CHEVRET P. – GABO : Résultats de l'enquête in-situ 5 ans après la création du questionnaire. INRS, Note scientifique et technique, 2019, NS 368, 24 p.

[2] NORME NF EN IEC 60268-16 – Équipements pour systèmes électroacoustiques – Partie 16 : évaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de transmission de la parole. Afnor, 2020.

[3] HAAPAKANGAS A., HONGISTO V., LIEBL A. – The relation between the intelligibility of irrelevant speech and cognitive performance: a revised model based on laboratory studies. *Indoor air*, 2020, 30 (6), pp. 1130-1146.

[4] EEA (2020) – *Environmental noise in Europe*. European Environment Agency, EEA Report No 22/2019, 101 p. Accessible sur : doi:10.2800/686249

[5] KOSTALLARI K. – *Contribution à l'étude des effets psychologiques du bruit de parole dans les bureaux ouverts*. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 2019.

[6] LENNE L. – *Gêne dans les bureaux ouverts : Incertitudes des indicateurs de la norme ISO 3382 3 et proposition d'amélioration de la norme ISO 22955*. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 2022.

[7] NORME ASTM E1374 – *Standard guide*

*for office acoustics and applicable ASTM standards*, 2018.

[8] WARNOCK A., HENNING D., NORTHWOOD T. – *Acoustic survey of an open-plan landscaped office*. National Research Council of Canada, Division of Building Research, 1972.

[9] VEITCH J.A. ET AL. – *Masking speech in open-plan offices with simulated ventilation noise: noise level and spectral composition effects on acoustic satisfaction*. Institute for Research in Construction, 2002, Rapport interne IRC-IR-846.

[10] BRADLEY J., GOVER B. – *Criteria for acoustic comfort in open-plan offices*. In: 33rd International congress and exposition on noise control engineering, 2004.

[11] LENNE L., CHEVRET P., MARCHAND J. – *Long-term effects of the use of a sound masking system in open-plan offices: a field study*. *Applied acoustics*, 2020, 158, 107049.

[12] KJELLBERG A., MUHR P., SKOLDSTROM B. – *Fatigue after work in noise: an epidemiological survey study and three quasi-experimental field studies*. *Noise health*, 1998, 1 (1), pp. 47-55.

[13] HONGISTO V., OLIVA D., REKOLA L. – *Subjective and objective rating of spectrally different pseudorandom noises:*

*implications for speech masking design*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2015, 137 (3), pp. 1344-1355.

[14] BERGEFURT L., APPEL-MEULENBROEK R., ARENTZE T. – *Level-adaptive sound masking in the open-plan office: How does it influence noise distraction, coping, and mental health?* *Applied Acoustics*, 2024, 217, 109845. Accessible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X23006436?via%3Dihub>

[15] NORME NF ISO 22955 – *Acoustique. Qualité acoustique des espaces de bureaux ouverts*. Afnor, 2021.

[16] INRS – *Environnement sonore en bureaux ouverts : évaluation de la gêne et démarche d'amélioration*. ED 6402, 2021. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206402>

[17] NORME NF EN ISO 3382-3 – *Acoustique. Mesurage des paramètres acoustiques des salles. Partie 3 : bureaux ouverts*. Afnor, 2022.

[18] NORME ASTM E1573 – *Standard test method for measurement and reporting of masking sound levels using A-weighted and one-third-octave-band sound pressure levels*. 2022.

# Préventeurs, formateurs, consultez le catalogue Formations 2025 – Santé et sécurité au travail sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)



Retrouvez toutes les informations sur  
[www.inrs.fr/services/formation](http://www.inrs.fr/services/formation)



## Base Colchic



La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques et biologiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (Lic) des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 substances chimiques et agents biologiques.

# EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX SUBSTANCES CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DANS LES TERRITOIRES D'OUTRE-MER : ANALYSE DES DONNÉES DE LA BASE COLCHIC

Approximativement 2,5 millions de Français résident dans les territoires français ultramarins (départements et régions d'outre-mer – Drom ; et collectivités d'outre-mer – Com). Toutefois, il existe peu d'informations sur les expositions professionnelles des salariés qui y travaillent. Or, plus de 13 000 résultats associés à des mesures d'exposition à des substances chimiques ou des agents biologiques en milieu de travail, provenant des territoires d'outre-mer, ont été enregistrés dans la base Colchic depuis 1987. Cet article présente une description des données d'exposition aux substances chimiques enregistrées dans cette base.

JEAN-FRANÇOIS SAUVÉ, GAUTIER MATER  
INRS, département Métrologie des polluants

### Contexte

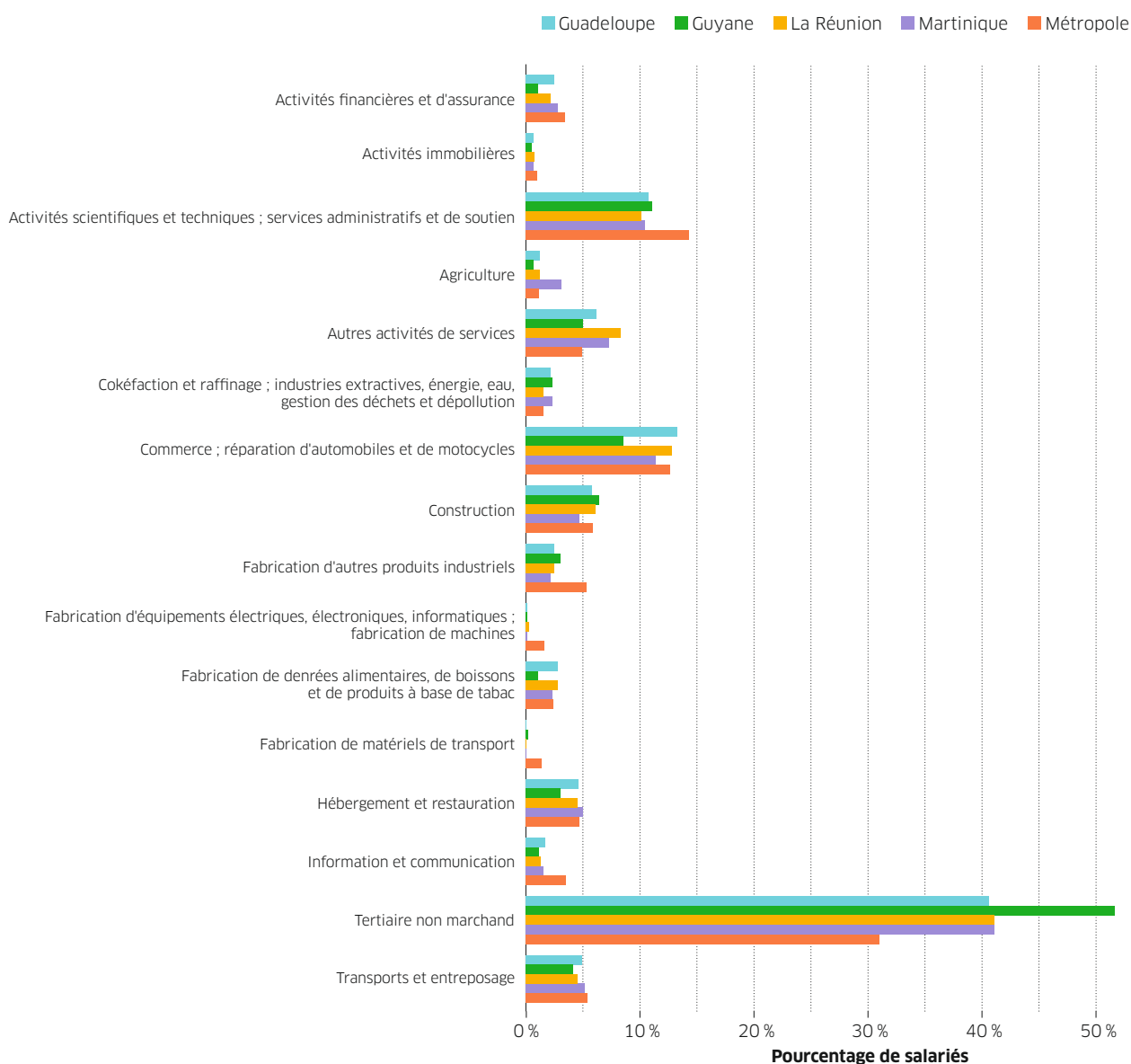
Les territoires français d'outre-mer comptent approximativement 2,5 millions d'habitants, les plus peuplés étant La Réunion (871 000), la Guadeloupe (384 000) et la Martinique (361 000) [1]. En 2022, le nombre de salariés dans les départements et régions d'outre-mer (Drom), hors Mayotte, était estimé à 508 000, soit 2,5 % du nombre total de salariés en France [2].

La *Figure 1* présente la répartition du nombre de salariés par secteurs d'activité au troisième trimestre 2023 entre la France métropolitaine, la Guadeloupe, la Guyane, la Martinique et La Réunion [3] selon la

nomenclature agrégée de l'Insee [4]. Les quatre Drom montrent un pourcentage plus élevé de travailleurs œuvrant dans le secteur tertiaire non marchand, qui inclut la fonction publique, comparativement à la France métropolitaine.

L'organisation de la prévention dans les Drom est semblable à celle de la Métropole. Elle repose sur plusieurs structures (caisses générales de Sécurité sociale : CGSS, services de prévention et de santé au travail : SPST) et également la Direction régionale de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités (Dreets) qui assure la mise en œuvre et le suivi des politiques de santé au travail.

*Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'exposition professionnelle telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné.*



↑ FIGURE 1 Répartition des salariés par groupe de secteurs d'activité.

Des plans régionaux de santé au travail (PRST) définissent les priorités et les actions de prévention [5-7]. Ils s'articulent autour des différents axes du Plan national de santé au travail, en priorisant la prévention primaire. Au même titre que les Carsat/Cramif, les CGSS mènent des actions de sensibilisation, d'information, de conseil, de formation et de contrôle auprès des entreprises et des salariés. Dans les Collectivités d'outre-mer (Com), des organismes locaux de Sécurité sociale participent à la prévention des risques professionnels tandis que des instances territoriales adaptent les politiques nationales de santé au travail aux spécificités locales. Pour évaluer les expositions professionnelles à des substances chimiques et des agents biologiques, les territoires français d'outre-mer s'appuient sur les laboratoires interrégionaux de chimie (Lic) des Carsat/Cramif, basés en métropole. Dans ce contexte, cet article vise à présenter

un portrait des expositions enregistrées dans la base Colchic pour les mesures collectées dans les territoires français d'outre-mer. Cette base de données regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées depuis 1987 sur les lieux de travail par les huit Lic des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS.

### Mesures concernées

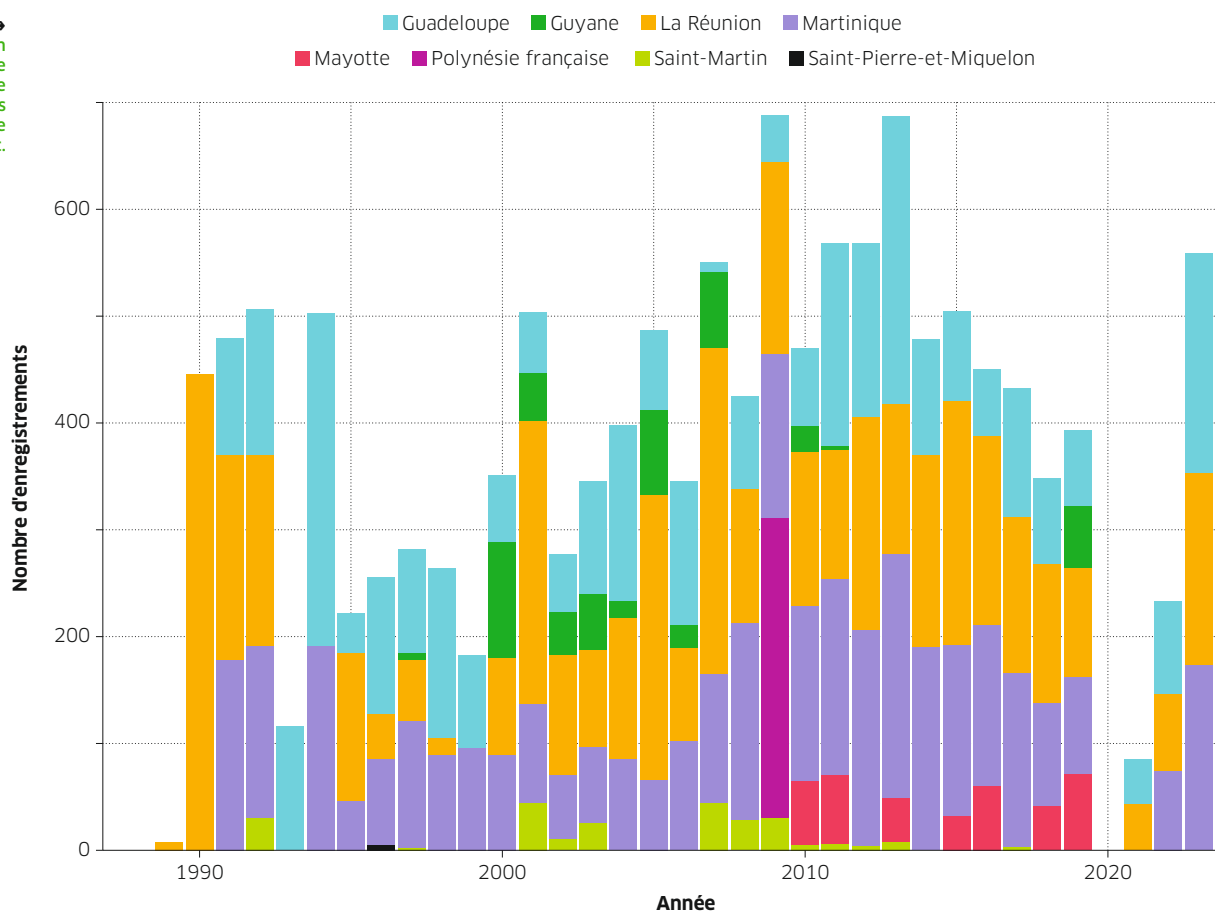
Le portrait des mesures proposé comprend un volet qualitatif portant sur l'ensemble des données enregistrées dans la base depuis sa création en 1987, et un volet quantitatif portant sur les dix dernières années complètes d'enregistrement (2014-2023). Pour cette dernière période, l'exploitation des données a été restreinte aux mesures réalisées à l'aide de prélèvements individuels dans la zone respiratoire des travailleurs, à des fins d'évaluation de l'exposition sur



**TABLEAU 1 →**  
Nombre  
d'enregistrements  
par Drom/Com  
dans la  
base Colchic  
de 1987 à 2023.

	NOMBRE D'ENREGISTREMENTS	% DU TOTAL	NOMBRE D'ÉTABLISSEMENTS
La Réunion	4594	34 %	328
Martinique	3863	29 %	365
Guadeloupe	3535	26 %	267
Guyane	527	4 %	43
Mayotte	368	3 %	19
Polynésie française	281	2 %	1
Saint-Martin	239	2 %	19
Saint-Pierre-et-Miquelon	5	< 1 %	1

**FIGURE 2 →**  
Distribution  
annuelle  
du nombre  
de résultats  
dans la base  
Colchic.



la durée d'une tâche ou à des fins de comparaison à des valeurs limites d'exposition (VLEP) de courte durée (VLEP-CT) ou sur huit heures (VLEP-8h). De plus, le prélèvement et l'analyse des échantillons devaient être réalisés selon des méthodes référencées telles que celles de la base MétroPol<sup>1</sup>.

### État des lieux depuis la création de la base Colchic

Au total, 13412 enregistrements d'évaluation d'exposition à 242 substances chimiques et à

cinq agents biologiques (aflatoxines et ochratoxine A) ont été identifiés dans la base de données Colchic à partir de 1989. Aucune mesure n'a été enregistrée lors des deux premières années de la base (1987 et 1988). 63 % des enregistrements correspondent à des prélèvements individuels, 35 % à des prélèvements en ambiance, et 2 % à des prélèvements à la source d'émission des polluants ou à des prélèvements surfaciques. Ces enregistrements proviennent de 1043 établissements répartis dans les cinq Drom et trois Com

(Polynésie française, Saint-Martin, Saint-Pierre-et-Miquelon) (Cf. *Tableau 1*). La Réunion compte le plus grand nombre d'enregistrements (4594, soit 34 % du total), suivie de la Martinique (3863 enregistrements, 29 % du total). 48 % des enregistrements proviennent d'établissements comptant moins de 10 salariés, et 42 % d'établissements comptant entre 10 et 99 salariés. En comparaison, sur la même période, en Métropole, 27 % des enregistrements proviennent d'établissements comptant moins de 10 salariés, et 54 % d'établissements comptant entre 10 et 99 salariés. La répartition montre qu'en moyenne 383 enregistrements provenant des Drom-Com ont été intégrés dans Colchic chaque année. En raison de la pandémie de Covid-19, aucun enregistrement n'a été effectué en 2020, avec une reprise progressive depuis (85 enregistrements en 2021, 233 en 2022 et 559 en 2023; Cf. *Figure 2*). Plus de la moitié des enregistrements concernent des composés organiques (n = 7604, 57 %), principalement des hydrocarbures aromatiques, suivis des métaux et métalloïdes (n = 2624, 20 %) et des poussières (n = 1942, 15 %). Cette répartition est similaire à celle retrouvée dans les enregistrements provenant de la France métropolitaine (50 % de composés organiques, 28 % de métaux et 13 % de poussières) pour la même période.

## État des lieux sur les dix dernières années d'enregistrement (2014-2023)

Pour la période 2014-2023, 1632 mesures en zone respiratoire ont été identifiées. Le *Tableau 2* présente les cinq substances les plus fréquemment mesurées durant cette période. Les poussières totales dans les locaux à pollution spécifique sont la substance la plus mesurée dans trois Drom (Réunion, Martinique et Mayotte). Le fer, le zinc, l'éthylbenzène, le xylène et le toluène figurent également parmi les substances les plus fréquemment mesurées dans chacun de ces Drom.



© Gaëlle Kerbaol/INRS/2016

Parmi les secteurs d'activité recensés, celui de la fabrication d'éléments en métal pour la construction était le plus fréquemment mesuré (n = 166, 10 % du total), suivi du traitement et de l'élimination des déchets (150 mesures), de la récupération (116 mesures), de la fabrication de peintures, vernis, encres et mastics et des travaux de finition (82 mesures chacun). La *Figure 3* présente une comparaison entre le nombre de salariés par secteur

Local de stockage de produits chimiques dans une plantation de bananes (Martinique).

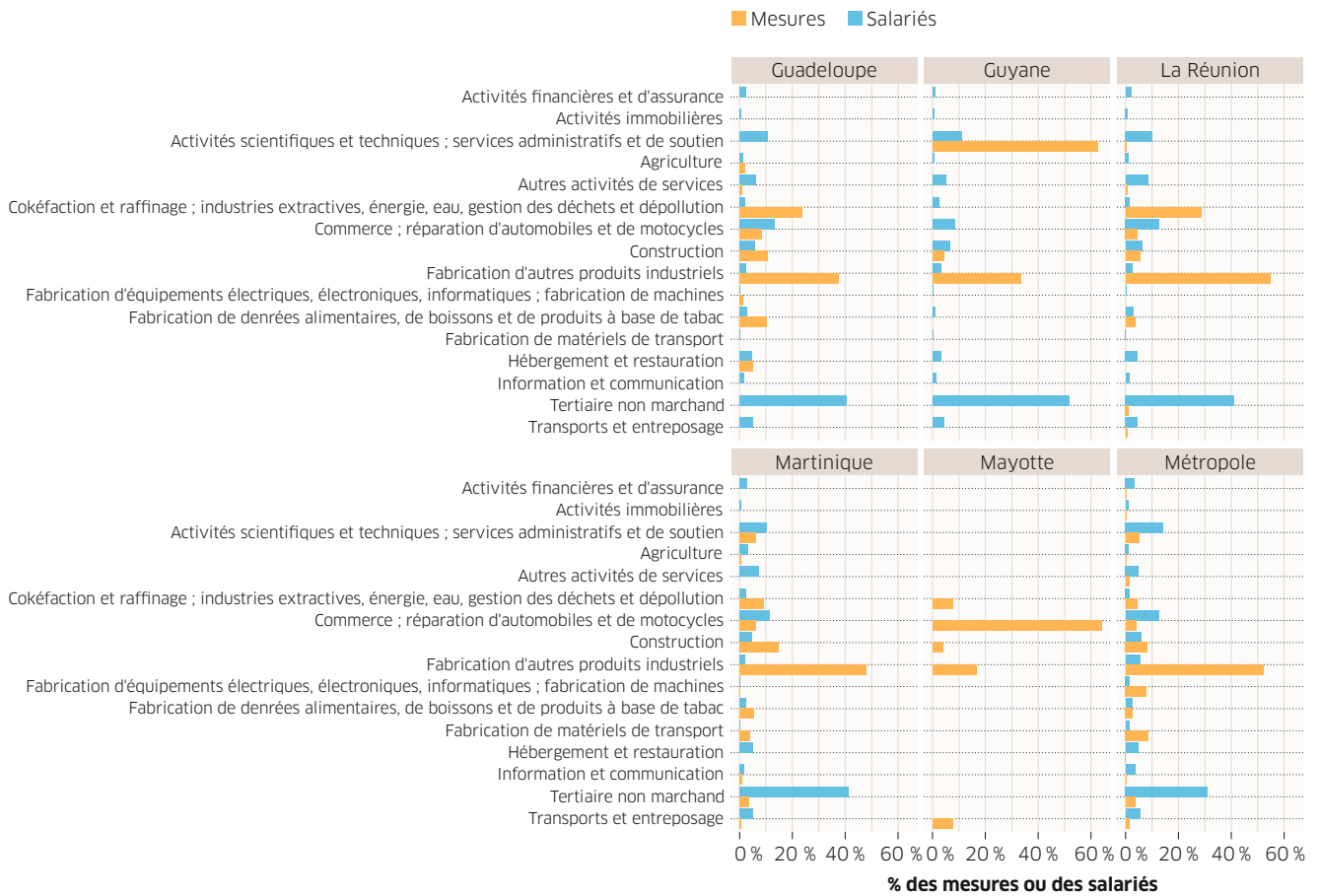
GUADELOUPE	LA RÉUNION	MARTINIQUE	MAYOTTE	AUTRE <sup>b</sup>
Poussières de bois (45)	Poussières totales <sup>a</sup> (92)	Poussières totales <sup>a</sup> (52)	Poussières totales <sup>a</sup> (13)	Benzène (6)
Poussières totales <sup>a</sup> (41)	Fer (66)	Fer (38)	Éthylbenzène (7)	Hydrocarbures C <sub>6</sub> à C <sub>12</sub> (6)
Fer (23)	Zinc (45)	Poussières de bois (37)	Xylène (7)	Pentane (6)
Zinc (15)	Aluminium (44)	Zinc (25)	Toluène (6)	Toluène (6)
Manganèse et ses composés, fraction inhalable (13)	Manganèse et ses composés, fraction inhalable (27)	Manganèse et ses composés, fraction inhalable (24)	Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle (5)	n-Hexane (6)

a. Poussières totales dans locaux à pollution spécifique, fraction inhalable.  
b. Comprend la Guyane et Saint-Martin.

←TABLEAU 2  
Les cinq substances les plus fréquemment mesurées durant la période 2014-2023 selon les territoires concernés, prélèvements en zone respiratoire uniquement.





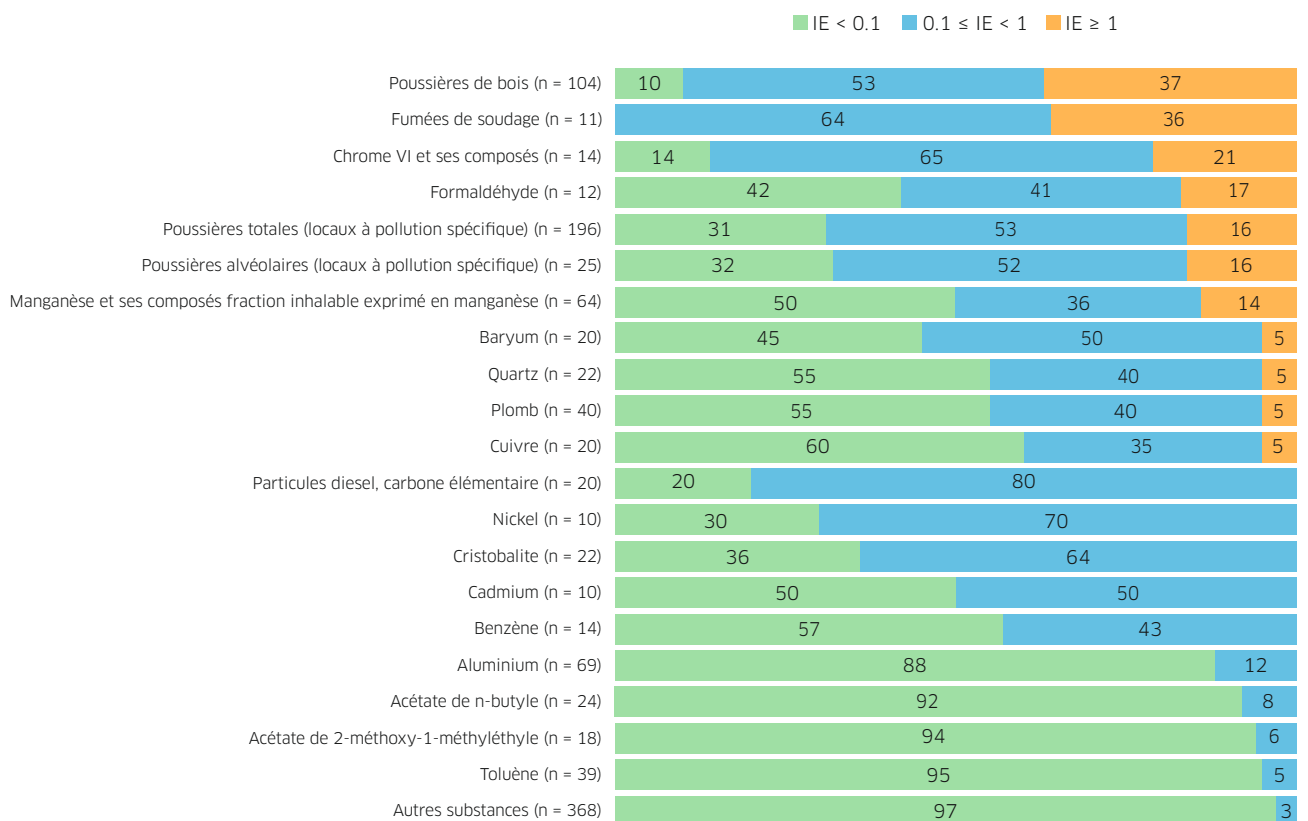
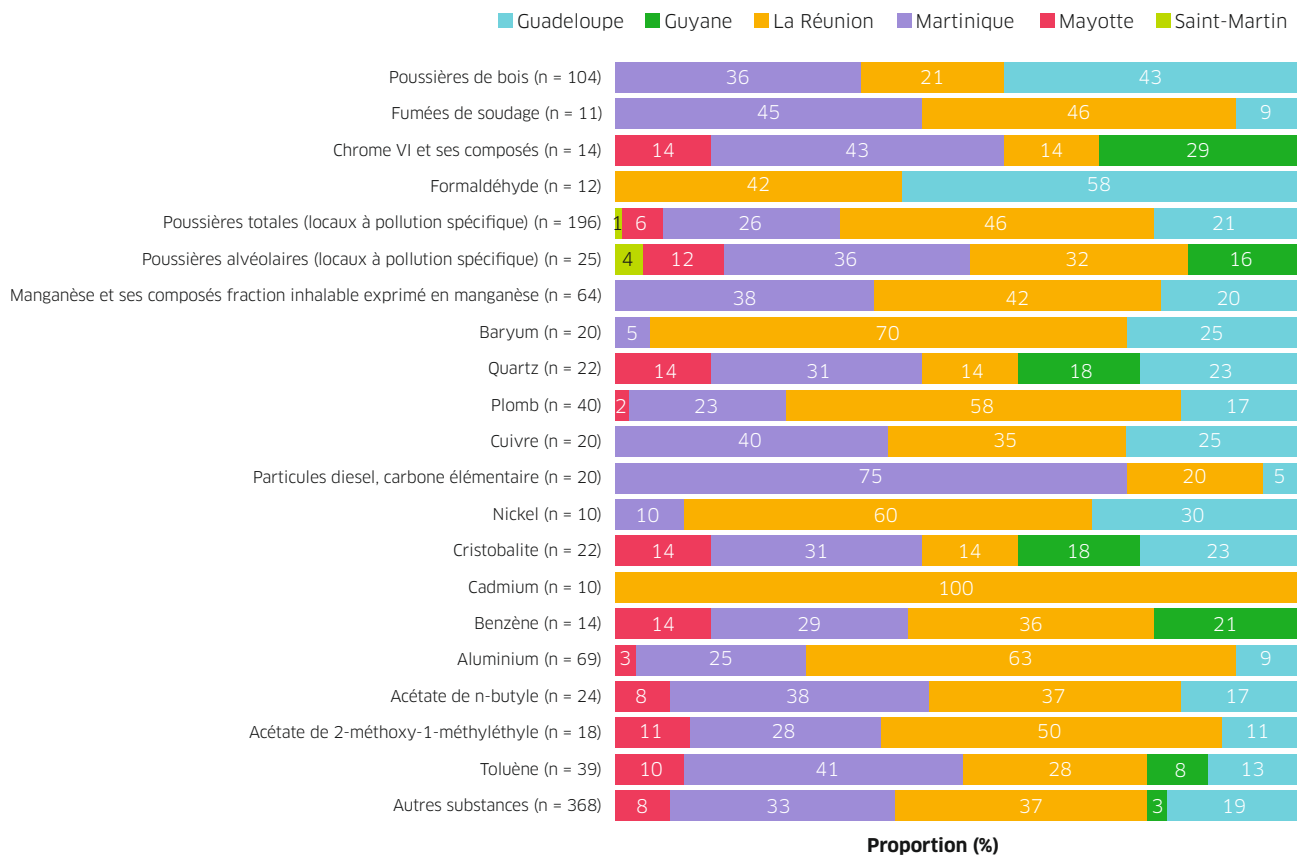


↑ FIGURE 3 Répartition du nombre de salariés (3<sup>e</sup> trimestre 2023) et du nombre de mesures par secteurs d'activité et Région.

d'activité au troisième trimestre 2023 et le nombre de mesures correspondant dans la base Colchic sur la période 2014-2023 pour les cinq Drom et pour la métropole [3]. Dans la majorité des cas, les mesures enregistrées proviennent principalement de la fabrication d'autres produits industriels (par exemple, textiles, produits à base de bois), tandis que le secteur tertiaire non marchand (administration publique, santé, éducation...) comporte la plus grande proportion de salariés.

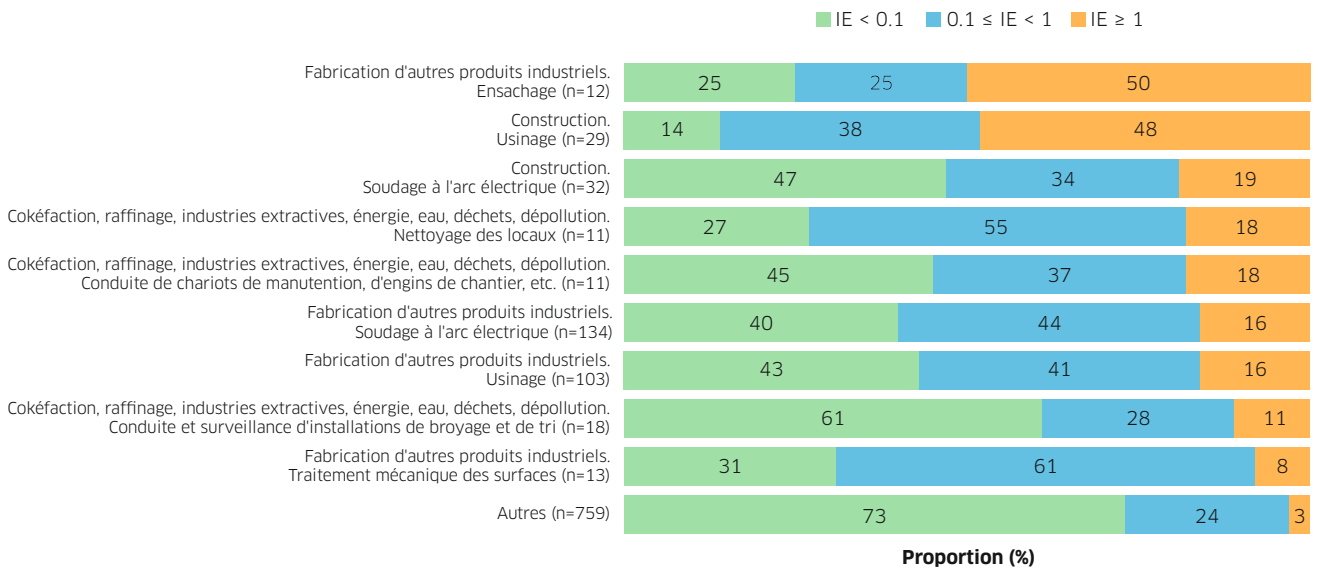
La Figure 4 présente la distribution du nombre de mesures par substance et par territoire, et la distribution des indices d'exposition, tous territoires confondus, pour les substances visées par des VLEP-8h, correspondant à 63 substances et 1122 mesures. Pour des raisons de lisibilité, seules les 20 substances ayant au moins dix mesures sont représentées. Les 43 substances restantes sont regroupées dans la catégorie « Autres substances ». Pour les concentrations mesurées en poussières de bois, 37 % dépassaient la VLEP-8h. Parmi les trois secteurs ayant au moins dix mesures de poussières de bois, 74 % de celles provenant des travaux de finition dépassaient la VLEP-8h, suivies de 35 % pour la fabrication d'articles en bois et 29 % pour la

fabrication de meubles. À part les poussières totales dans les locaux à pollution spécifique, le nombre de mesures disponibles pour les autres substances est plus faible, ce qui limite l'interprétation des pourcentages présentés dans la Figure 4. Néanmoins, certains secteurs d'activité tels que la fabrication d'éléments en métal pour la construction (poussières totales, manganèse, fumées de soudage) et la fabrication de ciment, chaux et plâtre (poussières totales et alvéolaires, chrome hexavalent) étaient associés à des dépassements de la VLEP-8h pour d'autres substances. La Figure 5 présente la distribution des indices d'exposition (IE)<sup>2</sup> relativement à la VLEP-8h par combinaison de secteur d'activité et tâche comptant au moins dix mesures, toutes substances confondues. Des dépassements ont été observés pour la moitié des mesures associées à l'ensachage dans la fabrication d'autres produits industriels (impliquant les poussières totales, alvéolaires et le quartz) et à l'usinage dans le secteur de la construction (impliquant majoritairement les poussières de bois). Les dépassements pour la tâche de soudage à l'arc électrique concernaient les poussières totales et certains métaux tels que le manganèse, le chrome hexavalent, le cuivre et le baryum.



↑ FIGURE 4 Nombre de mesures par substance, répartition par Drom/Com et indices d'exposition relativement aux VLEP-8h\*  
 \*Pour les poussières totales et alvéolaires dans les locaux à pollution spécifique, le terme VLEP-8h correspond à la concentration réglementaire moyenne  
 à ne pas dépasser sur 8 heures pour les poussières de l'atmosphère inhalée par un travailleur.





↑ FIGURE 5  
Distribution des indices d'exposition relativement aux VLEP-8h par combinaison de secteur d'activité et de tâche.

### Discussion – Conclusion

Cette exploitation de la base Colchic a permis de dresser un portrait des expositions aux substances chimiques mesurées dans le cadre d'activités menées par les organismes de prévention des Drom-Com depuis plus de trente ans et pour lesquelles peu d'informations sont rapportées dans la littérature. Ce portrait montre la diversité

géographique des prélèvements réalisés en milieu de travail. Toutefois, au même titre que pour les données provenant de la métropole, les mesures réalisées dans les Drom-Com sont principalement reliées à l'industrie manufacturière, comparativement au secteur tertiaire non marchand (comprenant l'enseignement, la santé humaine et l'administration publique), qui représente entre



Fabrication de pain à destination des commerces locaux (Martinique).

© Gaël Kerbaol/INRS/2016

## POUR EN SAVOIR +

- Outil 110 – Outil d'évaluation des niveaux d'exposition professionnelle par situation de travail. INRS. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/outil110>
- Dossier Web – Poussières de bois. INRS. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/poussieres-bois/>

un tiers et la moitié des emplois. Par ailleurs, les données de la base Colchic comptent peu d'enregistrements pour les secteurs de l'agriculture et de l'administration publique, qui représentent un poids économique important dans les Drom-Com. Le secteur agricole est d'ailleurs visé par certaines actions de prévention des risques chimiques, notamment en Guadeloupe [6] et en Martinique [7]. Parmi les substances les plus fréquemment mesurées entre 2014 et 2023, les mesures de concentrations en poussières de bois présentent une proportion importante de dépassements de la VLEP-8h. Un constat similaire est observé pour les données issues de la métropole sur la même période avec 29 % de dépassement de la VLEP. Afin de réduire le risque d'exposition à ce cancérigène, l'usage de moyens de prévention comme le captage à la source des poussières à l'aide de systèmes d'aspiration, ainsi que l'isolement des procédés émissifs, est recommandé [8]. Finalement, cette exploitation des données de la base Colchic a été réalisée en considérant chaque substance séparément. Or, l'évaluation des risques chimiques au poste de travail nécessite de prendre en compte les coexpositions à plusieurs substances pouvant



© William P. Bodard pour l'INRS/2023

avoir des effets combinés sur la santé [9]. À cet effet, l'outil d'évaluation des niveaux d'exposition professionnelle par situation de travail (Outil 110) (Cf. *En savoir plus*), développé par l'INRS, permet d'obtenir des informations sur des situations de polyexpositions à partir des données collectées dans Colchic, la situation de travail pouvant être décrite, entre autres, par le secteur d'activité et la tâche. ●

Opération de nettoyage dans un hôtel (Martinique).

1. Base de données MétroPol, développée par l'INRS sur les méthodes de métrologie des polluants. Accessible sur : [www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html](http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html)
2. Rappel : l'IE est le rapport : Concentration mesurée/VLEP-8h (quand elle existe).

## BIBLIOGRAPHIE

[1] DIRECTION GÉNÉRALE DES OUTRE-MER / MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR ET DES OUTRE-MER – Portail géographique et décisionnel des Outre-mer. 2024. Accessible sur : [https://observatoire.outre-mer.gouv.fr/cms/?page\\_id=374](https://observatoire.outre-mer.gouv.fr/cms/?page_id=374)

[2] ASSURANCE MALADIE / RISQUES PROFESSIONNELS – Rapport annuel 2022 de l'Assurance maladie – Risques professionnels. Éléments statistiques et financiers. 2023. Accessible sur : <https://www.assurance-maladie.ameli.fr/qui-sommes-nous/publications-referance/assurance-maladie-risques-professionnels/rapports-annuels>

[3] INSEE – Estimations d'emploi salarié par secteur d'activité. Régions et départements. 2024. Accessible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/series/102759768>.

[4] INSEE – La nomenclature agrégée – NA, 2008. 2016. Accessible sur : <https://www.insee.fr/fr/information/2028155>

[5] DIRECTION DE L'ÉCONOMIE, DE L'EMPLOI, DU TRAVAIL ET DES SOLIDARITÉS DE LA RÉUNION – Plan régional santé travail de La Réunion 2021-2025. Accessible sur : [https://reunion.deets.gouv.fr/sites/reunion.deets.gouv.fr/IMG/pdf/prst\\_4\\_la\\_reunion.pdf](https://reunion.deets.gouv.fr/sites/reunion.deets.gouv.fr/IMG/pdf/prst_4_la_reunion.pdf)

[6] DIRECTION DE L'ÉCONOMIE, DE L'EMPLOI, DU TRAVAIL ET DES SOLIDARITÉS DE GUADELOUPE – Plan régional santé travail de la Guadeloupe 2022-2025. Accessible sur : [https://guadeloupe.deets.gouv.fr/sites/guadeloupe.deets.gouv.fr/IMG/pdf/prst\\_4.pdf](https://guadeloupe.deets.gouv.fr/sites/guadeloupe.deets.gouv.fr/IMG/pdf/prst_4.pdf)

[7] DIRECTION DE L'ÉCONOMIE, DE L'EMPLOI, DU TRAVAIL ET DES SOLIDARITÉS MARTINIQUE – Plan régional santé travail (PRST 4) 2022-2025. 2022. Accessible sur : [https://martinique.deets.gouv.fr/sites/martinique.deets.gouv.fr/IMG/pdf/4e\\_plan\\_regional\\_sante\\_travail\\_2022\\_2025\\_site\\_deets.pdf](https://martinique.deets.gouv.fr/sites/martinique.deets.gouv.fr/IMG/pdf/4e_plan_regional_sante_travail_2022_2025_site_deets.pdf)

[8] INRS – Prévenir les risques liés aux poussières de bois. 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/poussieres-bois/>

[9] INRS – Polyexpositions : cadre réglementaire. 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/polyexpositions/reglementation.html>





# Agenda & services

## **Formation**

Les formations 2025 à la santé et sécurité au travail :  
une offre renouvelée et différentes modalités

P. 85

Agenda / Formations

P. 88

## **Congrès**

Agenda / Événements

P. 90

## **Sélection bibliographique**

À lire, à voir

P. 92

## Formation

# LES FORMATIONS 2025 À LA SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL : UNE OFFRE RENOUVELÉE ET DIFFÉRENTES MODALITÉS

L'INRS propose chaque année aux entreprises et aux salariés du régime général de la Sécurité sociale une offre de formations à la prévention des risques professionnels. Cette offre s'adresse à des publics qui cherchent à développer ou à perfectionner leurs connaissances et compétences en santé et en sécurité au travail.

**2025 TRAINING IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY: A RENEWED CATALOGUE AND CHANGED MODALITIES** – *Every year, INRS offers training to companies adhering to the general Social Insurance regime and their workers. The catalogue includes a range of courses dedicated to the prevention of occupational risks. The training offered is aimed at those seeking to develop or perfect their knowledge and skills in occupational safety and health.*

AURÉLIE  
PERISSE  
INRS,  
département  
Formation

L'INRS a pour mission de développer et de promouvoir une culture de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles au travers de quatre modes d'action complémentaires, dont la formation fait partie intégrante<sup>1</sup>. Pour y répondre, l'INRS propose un ensemble de formations relatives à la prévention des risques professionnels, depuis les fondamentaux de la prévention jusqu'aux risques et secteurs spécifiques, en passant par les démarches, méthodes et outils nécessaires à la mise en œuvre de bonnes pratiques de prévention. Destinée aux entreprises du régime général et à leurs salariés, l'offre de formation de l'INRS s'adresse à différents publics :

- les préventeurs et spécialistes de la prévention en entreprise ;
- les formateurs d'organismes de formation et d'entreprises, en tant que relais ;
- les responsables des ressources humaines et les managers ;

- les services de prévention et de santé au travail (médecins, infirmiers du travail, et autres fonctions : ergonomes, psychologues du travail, etc.) ;
- et plus largement, les salariés du régime général de la Sécurité sociale.

### Les stages au catalogue en 2025

Le département Formation de l'INRS « construit son offre de stages en fonction de nos connaissances des risques présents ou à venir dans les différents secteurs professionnels », explique Gérard Moutche, chef du département. « Pour cela, nous reprenons les différentes études et préconisations de l'INRS afin de les décliner en grands domaines qui constituent le "socle" de prévention », précise ce dernier.

En 2025, le catalogue propose une soixantaine de stages autour de plusieurs thématiques :

- les fondamentaux de la prévention ;
- l'organisation et le management de la prévention ;
- les démarches, méthodes et outils ;
- les risques professionnels spécifiques (agents chimiques et biologiques, risques pour la





## Formations 2025

### Santé et sécurité au travail

© INRS

reproduction, agents physiques, troubles musculosquelettiques, facteurs psychosociaux et organisationnels) ;

- les risques liés à des secteurs professionnels spécifiques.

Les thèmes de formation sur les risques psychosociaux (RPS), les troubles musculosquelettiques (TMS), le risque chimique ou le risque biologique restent ainsi largement traités dans l'offre de stages 2025.

Parmi les incontournables, figurent les stages suivants :

- « Identifier les étapes clés d'une démarche de prévention des risques liés aux machines » (Réf. JJ1606) ;
- « Évaluer et prévenir les risques biologiques en entreprise » (Réf. JJ1430) ;
- « Prévenir les risques liés à l'exposition au radon » (Réf. JJ1510) ;

- « Accompagner les entreprises dans la prévention des risques du travail de nuit » (Réf. JA1230) ;
- « Évaluer et prévenir les risques lors d'une intervention en espace confiné ou clos » (Réf. JA2032).

Un nouveau stage « Accompagner les mutations du travail et des organisations du point de vue de la santé et de la sécurité au travail » (Réf. JJ1234) traite des nouveaux modes de management et d'organisation. Répondant aux enjeux actuels de transformation, ce stage aborde les liens entre les nouvelles formes d'organisation et la santé au travail.

#### Présentiel et distanciel : différentes modalités de formation

Chaque année, l'INRS adapte les modalités de ses formations pour répondre aux besoins des stagiaires : « Si les formations en présentiel sont encore largement proposées dans nos centres de Paris et de Lorraine, le format distanciel des stages constitue



© Gaël Kerbaol/INRS/2022

désormais une organisation pédagogique récurrente qui peut prendre diverses formes en fonction des objectifs poursuivis », indique Gérard Moutche.

Les classes virtuelles peuvent s'organiser animées par des intervenants experts, et coordonnées par un responsable pédagogique. Elles proposent aux apprenants des apports notionnels fondamentaux, des travaux de groupe sur des études de cas, ou encore des échanges de pratiques professionnelles. Des contenus complémentaires (supports de formation, quiz) sont mis à disposition des apprenants durant la formation. Lorsque les objectifs pédagogiques d'une formation l'exigent, certaines formations en distanciel peuvent comporter une séquence en présentiel, on parle alors de formation hybride.

Une autre modalité est la formation dite tutorée à distance, qui existe depuis plusieurs années dans l'offre de formation de l'INRS. Elle repose essentiellement sur des apports de contenus dont l'apprenant fait l'acquisition à son rythme, à partir d'une plateforme de formation dédiée, avec l'accompagnement régulier d'un tuteur pédagogique.

La dernière modalité proposée par l'INRS est l'autoformation, conçue pour les salariés du régime général désirant acquérir des connaissances de base en santé et sécurité au travail. En accès libre, les séquences sont composées d'un contenu interactif en ligne : fictions animées, écrans d'information, exercices autoévaluatifs, témoignages de professionnels. En cas de réussite à l'évaluation finale,

une attestation est téléchargeable par l'apprenant. L'INRS propose deux autoformations :

- « *Acquérir les bases en prévention des risques professionnels* » : elle est adaptée à tout public désireux de développer des connaissances de base en santé et sécurité au travail.
- « *Acquérir les notions de base sur les produits chimiques* ».

À noter pour les formations à distance : si le projet de formation s'inscrit dans le plan de formation de l'entreprise, l'INRS recommande que la formation soit suivie pendant le temps de travail. Aussi, il est conseillé à l'apprenant de se rapprocher de son employeur pour organiser au mieux son temps de formation. ●

1. Les quatre modes d'action de l'INRS sont : les études et recherche, l'assistance, l'information/communication et la formation.

#### ENCADRÉ

#### COMMENT S'INSCRIRE À UNE FORMATION INRS ?

Le catalogue « Formations en santé et sécurité au travail 2025 » de l'INRS est disponible sous format électronique sur le site web de l'INRS (<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%201472>).

L'offre de stages et les formulaires sont accessibles sur : <https://www.inrs.fr/services/formation.html>



# AGENDA / FORMATIONS

## Prévenir les risques dus aux rayonnements optiques artificiels sur les lieux de travail (CA0570)

Une session : du 04/11/2024 au 06/11/2024 à Vandœuvre-lès-Nancy

### → PUBLIC

Ingénieurs, techniciens, fonctionnels « sécurité et hygiène industrielle », hygiénistes industriels, agents des services prévention des Carsat, Cramif et CGSS.

### → OBJECTIFS

Détecter les situations professionnelles entraînant des expositions à des rayonnements optiques artificiels (ROA) et participer à la démarche de prévention des risques associés.

### Objectifs pédagogiques :

- identifier les situations professionnelles d'exposition ;
- dérouler une démarche de prévention des risques liés à l'exposition aux ROA ;
- proposer des mesures de prévention adaptées.

### → CONTENU

- caractérisation des ROA et leurs effets physiologiques sur l'organisme ;
- activités et situations professionnelles concernées ;
- réglementation – valeurs limites d'exposition professionnelle ;
- évaluation des risques *a priori* ou sans mesure à l'aide de CatRayon ;
- évaluation des risques à partir du retour d'expériences des mesurages des centres de mesures physiques des Carsat ;
- solutions de prévention et de protection ;
- cas particulier des ROA cohérents (les lasers).

### → RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Durée :** 2,5 jours

**Responsable pédagogique :** Amine FATMI

**Renseignements, inscriptions :**

INRS, Département Formation

65, boulevard Richard-Lenoir

75011 Paris

E-mail : [secretariat.forp@inrs.fr](mailto:secretariat.forp@inrs.fr)

Coût : 770 € nets (exonération de TVA).

## Analyser des situations de travail suite à des atteintes à la santé dues aux risques psychosociaux (JA1731)

Une session : du 18/11/2024 au 22/11/2024 à Vandœuvre-lès-Nancy

### → PUBLIC

Fonctionnels « sécurité et santé au travail », ingénieurs-conseils et contrôleurs de sécurité des services de prévention des Carsat, Cramif et CGSS, services de prévention et de santé au travail (médecins, infirmiers et intervenants en prévention des risques professionnels).

### Prérequis :

Pour s'inscrire à cette formation, il est nécessaire :

- d'avoir suivi le stage « *Participer à une démarche de prévention des risques psychosociaux (RPS)* » (Réf. N12002) ;
- ou de posséder des connaissances équivalentes ;
- ou d'avoir suivi auprès d'une Carsat, Cramif ou CGSS la formation à la prévention des RPS inscrite dans l'offre nationale de formation du réseau Assurance maladie – Risques professionnels/INRS.

Les inscriptions seront validées après production des justificatifs de ces formations ou expériences.

### → OBJECTIFS

Se positionner selon sa place sociale dans une démarche concrète d'analyse *a posteriori* d'événements graves dus aux RPS (tentative de suicide, suicide, conflit, agression, pathologie professionnelle).

### Objectifs pédagogiques :

Construire ou participer à la construction d'un dispositif de prévention réunissant les conditions sociales favorables et le choix des méthodes adaptées pour intervenir sur une situation de travail ayant généré des atteintes à la santé dues aux RPS, au sein d'une entreprise ou d'une institution.

### → CONTENU

- conditions sociales et principes d'actions pour intervenir dans une analyse de situation de travail consécutive à une atteinte à la santé due aux RPS ;
- présentation de démarches d'enquêtes adaptées à des événements (conflits, actes de violence interne et externe, tentatives de suicide, suicides...) dus aux RPS.

### → RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Durée :** 4 jours

**Responsable pédagogique :**

Guy PEISSEL-COTTENAZ

**Renseignements, inscriptions :**

INRS, Département Formation

1, rue du Morvan, CS 60027

54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

E-mail : [secretariat.forp@inrs.fr](mailto:secretariat.forp@inrs.fr)

Coût : 1 232 € nets (exonération de TVA).

## Maîtriser les apports de la détection en temps réel pour la prévention des risques chimiques (CA1502)

*Une session : du 25/11/2024 au 29/11/2024 à Vandœuvre-lès-Nancy*

### → PUBLIC

Ingénieurs, techniciens, fonctionnels « sécurité et santé au travail », hygiénistes industriels, agents des services prévention des Carsat, Cramif et CGSS.

### Prérequis :

Pour s'inscrire à cette formation, il est nécessaire d'avoir de bonnes connaissances du risque chimique.

### → OBJECTIFS

Déterminer les conditions d'utilisation de la détection en temps réel pour accompagner à la prévention des risques chimiques.

### Objectifs pédagogiques :

- repérer les domaines d'utilisation et les limites de la détection en temps réel ;
- identifier les types de détecteurs adaptés à la situation de travail à analyser et définir son cahier des charges ;
- exploiter les résultats issus d'une campagne pour la prévention des risques chimiques.

### → CONTENU

- définitions et principes de la détection en temps réel : champs d'utilisation, terminologie, avantages et limites des différentes approches ;
- détection en temps réel des aérosols et des gaz/vapeurs : fonctionnement et types d'appareils ;
- détection portable de gaz et vapeurs ;
- étude de situations à l'aide de détecteurs en temps réel (intérêt et place en hygiène industrielle, interprétation des résultats) ;
- élaboration du cahier des charges d'un détecteur en fonction de ses besoins ;
- illustrations et retour d'expériences de l'utilisation des technologies Captiv et Dactari pour la prévention des risques chimiques.

### → RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Durée :** 4 jours

**Responsable pédagogique :** Diane MAGOT

**Renseignements, inscriptions :**

INRS, Département Formation

65, boulevard Richard-Lenoir

75011 Paris

E-mail : [secretariat.forp@inrs.fr](mailto:secretariat.forp@inrs.fr)

Coût : 1 232 € nets (exonération de TVA).

## Évaluer et prévenir les risques biologiques en entreprise (JJ1430)

*Une session : du 16/12/2024 au 19/12/2024 à Paris*

### → PUBLIC

Préventeurs d'entreprise et acteurs de services de prévention et de santé au travail (médecins, infirmiers et intervenants en prévention des risques professionnels).

### → OBJECTIFS

Évaluer et prévenir les risques biologiques en entreprise.

### Objectifs pédagogiques :

- identifier les sources de contamination possibles par des agents biologiques ;
- évaluer les risques d'exposition *via* la chaîne de transmission ;
- proposer des mesures de prévention adaptées.

### → CONTENU

- agents biologiques et conditions de développement ;
- effets potentiels sur la santé ;
- démarche d'évaluation : chaîne de transmission, métrologie ;
- mesures de prévention collectives et individuelles ;
- rôle des services de prévention et de santé au travail et surveillance médicale.

La formation n'aborde pas les activités en milieu de soin.

### → RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

**Durée :** 3 jours

**Responsable pédagogique :** Aurore YANG

**Renseignements, inscriptions :**

INRS, Département Formation

65, boulevard Richard-Lenoir,

75011 Paris

E-mail : [secretariat.forp@inrs.fr](mailto:secretariat.forp@inrs.fr)

Coût : 924 € nets (exonération de TVA).

## POUR EN SAVOIR

- Retrouvez toute l'offre de formation de l'INRS sur : [www.inrs.fr/services/formation.html](http://www.inrs.fr/services/formation.html)

# AGENDA/ÉVÉNEMENTS

## Préventica

**DU 8 AU 10 OCTOBRE 2024, LYON**  
Salon Préventica

Le salon professionnel de référence en matière de santé, sécurité et qualité de vie au travail abordera de nombreux sujets, au travers de 180 conférences, tables rondes, ateliers de solutions et ateliers participatifs, proposés sur les thèmes suivants :

- absentéisme ;
- addictions ;
- troubles musculosquelettiques ;
- risques naturels ;
- document unique ;
- politique et prospective en santé et sécurité au travail ;
- santé mentale et intelligence émotionnelle ;
- etc.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://www.preventica.com/congres-salon-preventica-lyon-2024.php](https://www.preventica.com/congres-salon-preventica-lyon-2024.php)



**DU 5 AU 7 NOVEMBRE 2024, PARIS**  
Salon Expoprotection

L'édition 2024 d'Expoprotection, salon international de la prévention et de la maîtrise des risques, aura pour thème « La gestion du risque 360° dans un environnement instable ». Ce salon permet aux décideurs en charge de la maîtrise des risques de découvrir les tendances et nouveautés du marché, de rencontrer des experts et des fournisseurs de solutions afin de protéger leurs collaborateurs et leur organisation contre l'ensemble des menaces auxquelles ils peuvent être exposés.

Plus d'une centaine de conférences et d'ateliers figurent au programme, autour de cinq thématiques principales :

- gestion du risque digital ;
- développement d'une culture de prévention ;
- nouveaux acteurs et nouveaux métiers ;
- gestion du risque en environnement instable ;
- gestion du risque et RSE.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://www.expoprotection.com/fr-fr.html](https://www.expoprotection.com/fr-fr.html)



**7 NOVEMBRE 2024, 11 H**

**Évaluer les risques biologiques : un nouvel outil pour les entreprises**

Les risques biologiques concernent de nombreux secteurs d'activité : les métiers de la santé, les services à la personne, l'agriculture, les industries agroalimentaires, les métiers de l'environnement... Afin d'aider les entreprises à mettre en place une démarche de prévention des risques biologiques, l'INRS a mis au point un outil en ligne, simple d'utilisation, permettant d'évaluer les risques biologiques. Ce webinaire a pour objectif de présenter cet outil.

Inscriptions :

[+ https://register.gotowebinar.com/register/4004201884835309918](https://register.gotowebinar.com/register/4004201884835309918)

**19 NOVEMBRE 2024, 11 H**

**Pourquoi et comment évaluer les risques professionnels ? Document unique et démarche de prévention**

L'évaluation des risques professionnels et le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP), qui permet de formaliser et d'enregistrer les résultats de cette évaluation, sont des dispositifs à disposition des entreprises pour agir en prévention.

Ce webinaire présentera le contexte encadrant ces deux dispositifs, leurs liens et leur intérêt dans la démarche de prévention et proposera des aides pour les réaliser.

Inscriptions :

[+ https://register.gotowebinar.com/register/1165129822863016536](https://register.gotowebinar.com/register/1165129822863016536)

**3 DÉCEMBRE 2024, 11 H**

**Installation et maintenance photovoltaïques : comment prévenir les risques ?**

Chutes de hauteur, chocs électriques, travaux en extérieur, incendie, coactivité, manutention... les risques dans ce secteur d'activité sont multiples, de même que les métiers concernés (électriciens, couvreurs, étancheurs et plus largement les métiers de la construction). L'INRS organise un webinaire afin d'éclairer les entreprises en charge d'installations photovoltaïques (toitures en résidentiel, industriel, tertiaire ou agricole, ombrières) et de leur maintenance sur les risques professionnels et les solutions existantes pour les prévenir.

Inscriptions :

[+ https://register.gotowebinar.com/register/4805649106267163735](https://register.gotowebinar.com/register/4805649106267163735)



**14 NOVEMBRE 2024, PARIS**

**Conférence internationale – Foresight for occupational safety and health**

Changement climatique, crises géopolitique et énergétique, développement de l'automatisation et du recours à l'intelligence artificielle... Comment ces évolutions vont-elles contribuer à transformer le travail dans les années à venir ? Avec quels impacts sur la santé et la sécurité des travailleurs ?

Cette conférence internationale, organisée par l'INRS à la Maison de la RATP à Paris, a pour objectifs de partager des résultats de travaux de prospective conduits par différents instituts de santé et sécurité au travail, et de débattre des

usages qui en sont faits pour la préservation de la santé des travailleurs dans le futur.

Renseignements – Inscriptions :

[+ https://fosh2024.inrs.fr/](https://fosh2024.inrs.fr/)



**26 NOVEMBRE 2024, EN DIRECT SUR INTERNET**

**Journée technique – Bioaérosols au travail**

Dans de nombreux secteurs professionnels, les travailleurs peuvent être exposés à des agents biologiques présents dans l'air et potentiellement pathogènes. Il est nécessaire de caractériser ces expositions pour mieux agir en prévention. Or, la présence de bioaérosols aux postes de travail est peu prise en compte, elle concerne pourtant des atmosphères professionnelles diverses : collecte et traitement des déchets, industrie agroalimentaire, traitement des eaux usées, milieux de soins, etc.

Cette journée technique, destinée à informer et à sensibiliser l'ensemble des acteurs de la prévention des risques professionnels, proposera un état des lieux des connaissances actuelles relatives aux bioaérosols : de quoi parle-t-on ? Quels sont les risques ? Comment les mesurer ? Quelles sont les solutions de prévention ?

Renseignements – Inscriptions :

[+ https://bioaerosols2024.inrs.fr/](https://bioaerosols2024.inrs.fr/)

---

**POUR EN SAVOIR +**

• *L'agenda complet des rencontres recensées par l'INRS est accessible sur : [www.inrs.fr/footer/agenda.html](http://www.inrs.fr/footer/agenda.html)*



## Sélection bibliographique

# À LIRE, À VOIR

Les publications de l'INRS sont consultables et téléchargeables sur : [www.inrs.fr/Rubriques](http://www.inrs.fr/Rubriques) « Publications et outils/Brochures et dépliant » ou « Affiches et autocollants » (papier/Web) et « Vidéos ».



### Agroalimentaire. Repérage des risques et bonnes pratiques de prévention

INRS, 2024, brochure ED 6524, coll. Démarche de prévention (nouveau).

L'objectif de ce guide est d'accompagner les professionnels du secteur de l'agroalimentaire dans une démarche d'évaluation et de prévention des risques professionnels, en les aidant à repérer ces risques tout au long du processus de fabrication des produits et à prendre des mesures de prévention adaptées. Il traite des risques encourus par les opérateurs de production, de maintenance et de nettoyage des industries et commerces de l'agroalimentaire, en incluant le personnel des entreprises extérieures sollicité pour le nettoyage, la maintenance, etc. Ces risques, communs aux entreprises agroalimentaires, sont regroupés par grands domaines, tels que les sols, les risques biologiques, etc.



### Cuves de traitement de surface

INRS, 2024, brochure ED 6523, coll. Guide pratique de ventilation (nouveau).

La démarche de conception des installations de ventilation des cuves de traitement de surface comprend trois étapes : l'évaluation du risque, la détermination du dispositif de captage et les calculs des débits d'aspiration, selon le type de dispositif choisi et la réalisation de l'installation de ventilation. Des exemples de réalisations d'installations industrielles existantes illustrent cette démarche.



### TutoPrév' pédagogie – Travail de bureau

INRS, 2024, brochure ED 4600, coll. TutoPrév' pédagogie (nouveau).

Cette publication est destinée aux enseignants et vise à accompagner la formation des élèves qui préparent des diplômes professionnels de l'Éducation nationale en lycée professionnel ou en CFA (centre de formation d'apprentis). À vocation pédagogique, elle comprend des rappels méthodologiques des principales notions de santé et de sécurité au travail en secteur tertiaire, ainsi que la présentation des principaux risques liés à ces métiers. Elle comporte également un support d'observation basé sur des questionnaires. L'objectif est de guider l'élève dans le repérage des dangers liés aux situations de travail, pour qu'il puisse proposer des mesures de prévention des risques professionnels.



### TutoPrév' accueil – Métiers de la beauté

INRS, 2024, brochure ED 4474, coll. TutoPrév' accueil (nouveau).

TutoPrév' accueil s'adresse principalement aux personnes chargées de l'accueil et de l'accompagnement des nouveaux arrivants en entreprise, mais aussi aux enseignants et aux formateurs. Il propose des planches illustrées permettant le repérage des situations à risque, ainsi que la recherche des solutions de prévention à mettre en œuvre. Il permet de vérifier les acquis et de repérer les connaissances complémentaires à apporter à l'élève, au stagiaire, à l'apprenti ou au nouvel arrivant. Les situations de travail illustrées dans ce module portent sur la coiffure, les soins esthétiques et la prothèse ongulaire.



## La main et les produits chimiques

INRS, 2024, dépliant ED 6528 (*nouveauté*).

Ce dépliant de sensibilisation, destiné à un large public, vise à interpeller les utilisateurs de produits chimiques sur les risques pour la santé et pour les mains. Il décrit des situations de travail potentiellement dangereuses et des mesures de protection à mettre en place.



## Postures sédentaires au travail, un enjeu pour votre santé

INRS, 2024, dépliant ED 6522 (*nouveauté*).

Ce dépliant définit les postures sédentaires et présente les effets qu'elles peuvent générer pour la santé, si elles sont prolongées dans le temps. Des mesures de prévention sont proposées, notamment de favoriser le mouvement et de limiter le temps passé en postures sédentaires.



## Déficit d'oxygène. Mesures de prévention

INRS, 2024, fiche ED 155, coll. Fiche pratique de sécurité (*nouveauté*).

Dans certaines situations professionnelles, l'atmosphère de travail est susceptible d'être appauvrie en oxygène de manière volontaire ou involontaire. De graves altérations de la santé allant jusqu'au décès peuvent alors survenir. Il est donc indispensable de repérer les situations à risque et de prendre les mesures de prévention nécessaires.



## Le programme de protection respiratoire

INRS, 2024, fiche ED 156, coll. Fiche pratique de sécurité (*nouveauté*).

Lorsque le port d'un appareil de protection respiratoire s'impose, l'employeur doit sélectionner l'appareil adapté, informer et former les utilisateurs, s'assurer que l'appareil est utilisé de façon adéquate, mettre en œuvre le suivi pour l'entretien et la maintenance. L'ensemble de ces éléments forme le programme de protection respiratoire, détaillé dans cette fiche pratique.



## Sécuriser les interventions sur les toitures-terrasses. Risques de chute

INRS, 2024, fiche ED 6529, coll. Solutions de prévention (*nouveauté*).

Un accès adapté, la présence d'une protection collective permanente en périphérie de toiture et l'aménagement de zones de circulation libres de tout obstacle contribuent à limiter les chutes au travail. Une nouvelle fiche de la collection « Solutions de prévention » rappelle ces principes.



## Napo dans... Alerte au feu !

INRS, 2024, vidéo Anim-386, coll. Napo (*nouveauté*).

Ce film d'animation illustre les risques d'incendie et d'explosion sur le lieu de travail, ainsi que les mesures de prévention qui peuvent être mises en place. Pour ce faire, on suit les aventures de Napo, personnage sympathique et maladroit, dans huit sketches qui mettent en scène des situations de travail où Napo et ses collègues sont confrontés à ce risque professionnel. L'animation s'adresse principalement aux travailleurs dans les industries et aux métiers où le risque d'incendie et d'explosion est élevé.



## Production audiovisuelle. Prévenir les risques professionnels

INRS, 2024, dossier Web ; dépliant ED 6533, coll. TPE-PME ; outil n° 130, Web uniquement (*nouveautés*).

Les salariés du secteur de la production audiovisuelle cinématographique et publicitaire sont exposés à des risques professionnels de diverses natures : chutes de plain-pied, chutes de hauteur, douleurs au dos et aux articulations, risques liés à des situations de tournage spécifiques, dans les airs, sur l'eau, en présence d'animaux...

- un dossier Web apporte un ensemble de ressources pour mieux comprendre et prévenir ces risques et aider à réaliser le document unique d'évaluation des risques ;
- un dépliant de sensibilisation présente les principaux risques professionnels rencontrés dans cette activité, ainsi que les chiffres clés en matière d'accidents du travail et de maladies professionnelles. Il présente également des solutions de prévention ;
- un outil Web permet de réaliser l'évaluation des risques et d'éditer un plan d'action. Pour chaque risque identifié, une liste de mesures de prévention est proposée. Il est également possible d'ajouter des risques ou des mesures en fonction de la situation de chaque entreprise.



## Qualité de l'air intérieur

INRS, 2024, dossier Web (*nouveauté*).

Substances chimiques, micro-organismes... Certains agents présents dans l'air à l'intérieur des bâtiments peuvent avoir des effets sur la santé des salariés. Quels sont ces polluants ? Comment agir pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur des locaux de travail ? Un nouveau dossier web apporte les réponses à ces questions de prévention.



## Les agents biologiques

INRS, 2024, vidéos Anim-403, Anim-404, Anim-405 ; coll. L'essentiel sur (*nouveautés*).

Une nouvelle série de trois films de sensibilisation aborde, grâce à des images animées, l'essentiel des informations liées aux risques biologiques en milieu professionnel :

- le premier film décrit les conditions nécessaires au développement des agents biologiques ; conditions qu'il est possible de retrouver dans de nombreux secteurs d'activité ;
- le deuxième porte sur l'évaluation des risques biologiques ;
- le troisième présente les moyens de prévenir ces risques et de protéger la santé des salariés.



## Prévention des risques professionnels liés à la gestion des déchets du BTP

INRS, 2024, brochure ED 6527, coll. Démarche de prévention (*nouveauté*).

Cette brochure décrit la démarche de prévention des risques professionnels et donne des conseils pour l'adopter à toutes les étapes de la filière de gestion des déchets du BTP, en intégrant, le plus en amont possible, tous les acteurs concernés (donneurs d'ordres, maîtres d'ouvrage, entreprises de travaux, concepteurs, coordonnateurs, gestionnaires de centre de tri et de traitement...).

# EPI

Équipement  
de protection  
individuelle



Il ne suffit pas de porter un EPI,  
assurez-vous qu'il soit  
correctement porté.



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles - 65 bd Richard-Lenoir 75011 Paris - [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) - Design graphique : Sophie Otrage - © INRS 2022 - AD 871

Pour en savoir plus :  
[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)







# Veille & prospective

## **Prospective**

L'avenir des compétences  
et des emplois verts en Europe en 2050 :  
scénario et implications politiques ;  
conséquences pour la prévention  
des risques professionnels

P.97

## Prospective

# L'AVENIR DES COMPÉTENCES ET DES EMPLOIS VERTS EN EUROPE EN 2050 : SCÉNARIO ET IMPLICATIONS POLITIQUES ; CONSÉQUENCES POUR LA PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

---

MICHEL HÉRY  
INRS (France)

---

MIKKEL  
KNUDSEN  
University  
of Turku  
(Finlande)

---

MARJOLEIN  
CANIËLS  
Open  
Universiteit  
(Pays-Bas)

---

JENNIFER  
CLERTÉ  
INRS (France)

---

PETER  
DICKINSON  
Warwick  
Institute for  
Employment  
Research  
(Royaume-Uni)

---

TOTTI  
KÖNNÖLÄ  
Insight  
Foresight  
Institute  
(Espagne)

---

HEILA LOTZ-  
SISITKA  
Rhodes  
University  
(Afrique  
du Sud)

---

Dans le cadre des politiques européennes en matière de recherche et innovation, des études de prospective sont initiées par la Commission européenne en vue d'orienter les besoins futurs et de dégager des priorités communes. L'INRS a été sollicité pour participer, avec d'autres experts européens, à un exercice de prospective consacré aux compétences et aux emplois verts en Europe à l'horizon 2050. Cet article propose une synthèse de ces travaux.

---

*THE FUTURE OF GREEN SKILLS AND JOBS IN EUROPE IN 2050: SCENARIO AND POLICY IMPLICATIONS - CONSEQUENCES FOR THE PREVENTION OF OCCUPATIONAL RISKS – In the context of European research and innovation policies, a strategic foresight process has been implemented by the European Commission with a view to guiding future needs and identifying common priorities. INRS and other European experts were invited to participate in a foresight network focusing on green skills and jobs in Europe by 2050. This article presents a summary of the discussions.*

**S**ous l'égide d'Horizon Europe [1], le programme-cadre de l'Union européenne (UE) pour la recherche et l'innovation (R&I) pour la période allant de 2021 à 2027, une action spécifique est menée dans le domaine de la prospective [2]. Elle vise à promouvoir la coordination par l'UE des acteurs européens dans ce domaine au service de la création d'objectifs et de priorités communs. Des initiatives très variées sont menées, comme l'organisation d'ateliers, de séminaires, de conférences, la création de boîtes à outils méthodologiques, de modules de formation, etc. Il peut s'agir aussi de fournir à la Commission européenne des informations prévisionnelles et des notes d'orientation prospectives pour les besoins de la politique de R&I. C'est dans ce cadre qu'ont été

### ENCADRÉ PROJET EUROPÉEN POUR LA RECHERCHE ET L'INNOVATION

Cet article utilise les résultats de l'une des huit études prospectives approfondies du projet *European R&I Foresight and Public Engagement for Horizon Europe*, mené par le consortium *Foresight on Demand* pour la Direction générale de la recherche et de l'innovation de la Commission européenne au printemps 2023. De plus amples informations et un espace de discussion interactif sont disponibles sur le site web : [www.futures4europe.eu](http://www.futures4europe.eu)



lancés des travaux dans des domaines aussi divers que l'évolution à venir des relations sociales, de la propriété intellectuelle, de l'utilisation de la nature, des grandes technologies, etc. [3].

Sur la base des travaux de prospective qu'il a menés sur l'économie circulaire [4,8] et l'évolution des modes de production [5], l'INRS a été sollicité pour contribuer à un exercice de prospective, intitulé : *L'avenir des compétences et emplois verts en Europe en 2050 : Scénario et implications politiques* [6].

Cet article vise dans un premier temps à présenter les principaux éléments de cet exercice. Dans une deuxième partie, les résultats des travaux consacrés à l'économie circulaire et aux modes de production cités ci-dessus [4,5] seront mobilisés pour évaluer les conséquences, en matière de prévention des risques professionnels, des principaux développements de l'étude européenne.

### Éléments de contexte

Le « *Green Deal* » européen vise à rendre l'Europe neutre sur le plan climatique d'ici à 2050, à stimuler l'économie grâce aux technologies vertes, à créer une industrie et des transports durables et à réduire la pollution. La transition vers des économies plus vertes et plus durables change la donne sur le marché du travail de l'UE, au même titre que la numérisation et l'automatisation. Les changements déjà en cours impliquent la nécessité pour l'Europe de promouvoir et de soutenir l'emploi vert, d'aborder la question de la qualification et de la requalification des travailleurs et d'anticiper les changements sur les lieux de travail.

Alors que les questions liées à l'évolution du modèle productif vers plus de soutenabilité et les compétences vertes qu'elles impliquent font l'objet de nombreux travaux, la question d'une éventuelle pénurie de main-d'œuvre est rarement abordée. Une situation potentielle à long terme dans laquelle les compétences acquises pour la transition verte aboutissent à une offre excédentaire de main-d'œuvre est également rarement envisagée, bien que cela ait aussi des conséquences sur l'allocation optimale des ressources.

L'étude présentée ici développe quatre scénarios contrastés sur l'état des compétences et des emplois verts, et l'offre et la demande en main-d'œuvre adaptée dans l'UE d'ici 2050, incluant des considérations sur le leadership mondial dans les technologies vertes. Le rôle de la R&I, le changement technologique (en particulier l'intelligence artificielle [IA]), les besoins en infrastructures et le changement institutionnel sont également pris en compte.

### Méthodologie de l'étude européenne

Un groupe projet de cinq personnes ayant déjà effectué des travaux de prospective connexe au sujet traité a été constitué pour toute la durée du

projet. Les réunions ont eu lieu par visioconférence. De façon ponctuelle, afin de déterminer le contenu des scénarios, ce groupe a été renforcé par un total d'une vingtaine d'experts de différentes disciplines (prospective, environnement, emploi, etc.).

L'étude a comporté plusieurs étapes :

- **Étape 1 :** identification de facteurs de changements (équivalents des variables selon la terminologie employée en prospective à l'INRS) qui influenceront dans les années à venir les activités vertes et leurs emplois.
- **Étape 2 :** détermination des quatre principales dimensions qui vont structurer dans les années à venir le contexte dans lequel le sujet défini pour l'étude va évoluer, et en fonction desquelles le choix de quatre scénarios contrastés a été effectué : environnement, leadership européen (dans le domaine des technologies vertes), demande d'emplois verts, offre d'emplois verts.
- **Étape 3 :** contribution des experts extérieurs au groupe pour la détermination du contenu de chaque scénario : pour ce faire, ils ont été invités à imaginer l'évolution des facteurs de changement identifiés à l'étape 1, en fonction de l'état des dimensions propre à chaque scénario.
- **Étape 4 :** rédaction de ces quatre scénarios, confiés chacun à un des experts du groupe de travail, bénéficiant de la relecture contributive des autres experts.
- **Étape 5 :** discussion collective au sein du groupe projet à propos des différentes implications de ces scénarios sur les développements possibles et souhaitables de la politique R&I de l'UE.

### Résultats

#### Les facteurs de changements

Le *Tableau 1* rassemble l'ensemble des facteurs de changement sélectionnés. Pour chacun d'eux, une note explicative a été rédigée et d'éventuelles références bibliographiques ont été signalées. L'ensemble a été mis à la disposition de tous les experts.

#### Les dimensions déterminantes du sujet

Quatre dimensions ont été considérées par le groupe de travail comme les plus déterminantes pour le sujet : l'environnement, la primauté (leadership) de l'UE dans les technologies vertes, la demande d'une main-d'œuvre formée aux technologies vertes et l'offre de cette main-d'œuvre. Pour chacune de ces dimensions, le groupe a qualifié un état maximal et un état minimal.

#### → Environnement (Env)

- **État maximal :** en 2050, une transition durable et respectueuse de l'ensemble des parties prenantes est sur le point de s'achever. Les combustibles fossiles ont été progressivement éliminés,

l'UE a atteint ses objectifs Net Zero et les émissions mondiales de gaz à effet de serre s'approchent des objectifs de l'accord de Paris. La nature et la biodiversité se portent mieux.

- **État minimal** : les pressions environnementales sont exacerbées. La population doit faire face à des températures en hausse, la perte accélérée de la biodiversité, l'augmentation de la pollution et la multiplication des phénomènes météorologiques défavorables. Beaucoup d'emplois verts

ont pour fonction l'adaptation aux pressions dues au dérèglement climatique, voire aux défaillances des systèmes.

→ **Leadership européen (Lead)**

- **État maximal** : l'UE est un leader mondial dans le domaine des technologies vertes. Une part importante de la R&D mondiale, ainsi que des emplois de production liés aux produits verts, est situé en Europe.

<b>Changement climatique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution de la biodiversité due à l'activité humaine.</li> <li>• Pénuries croissantes d'eau et mauvais état chimique des eaux souterraines.</li> <li>• Augmentation de la température des océans.</li> <li>• Acidification des océans et des eaux.</li> <li>• Dégradation des sols.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conflits concernant les installations d'énergie renouvelable sur terre et en mer.</li> <li>• Pandémies et épidémies.</li> <li>• Réensauvagement.</li> <li>• Restauration des sols.</li> <li>• Agriculture du futur.</li> <li>• Solutions basées sur la nature.</li> </ul>
<b>Travail et formation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Types d'emploi.</li> <li>• Utilisation des nouvelles technologies dans la formation professionnelle (initiale et continue).</li> <li>• Rôle et nature de l'enseignement professionnel dans la formation initiale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Financement de la formation professionnelle.</li> <li>• Organisations du travail basées sur la satisfaction des besoins de l'équipe (servant leadership).</li> </ul>
<b>Démographie, modes de vie et valeurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nouveaux modes de consommation : l'économie du partage.</li> <li>• Migration, immigration et intégration.</li> <li>• Mouvements antiscience.</li> <li>• Mouvements anticonsommation.</li> <li>• Conflits liés à l'approvisionnement en ressources naturelles, par exemple par le biais de l'exploitation minière.</li> <li>• Conflits liés à l'utilisation des ressources naturelles.</li> <li>• Communautés de consommation (consommateurs experts et responsables).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manifestations et autres formes d'activisme civil.</li> <li>• Patrimoine naturel et culturel.</li> <li>• Idéalisation croissante des modes de vie ruraux.</li> <li>• Évolution vers une alimentation durable.</li> <li>• Évolutions démographiques.</li> <li>• Inégalités.</li> <li>• Polarisation de la société.</li> <li>• Gestion des communautés.</li> <li>• Reconfiguration du logement.</li> </ul>
<b>Économie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilité des ressources naturelles (hors énergie).</li> <li>• Relocalisation de la production vers les pays développés.</li> <li>• Développement de l'économie numérique.</li> <li>• Économie solidaire.</li> <li>• Économie circulaire.</li> <li>• Pressions de la mondialisation.</li> <li>• Diversification de l'économie rurale.</li> <li>• Menace de déclin des activités économiques liées à l'utilisation de la mer et des terres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mines et carrières.</li> <li>• Tourisme.</li> <li>• Transport.</li> <li>• Accaparement des terres.</li> <li>• Abandon de terres.</li> <li>• Actifs dévalués.</li> <li>• Verdissement de la production.</li> <li>• Fabrication et production décentralisées.</li> <li>• Inflation verte.</li> </ul>
<b>Gouvernance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influence économique des structures étatiques.</li> <li>• Assurance des biens et prévention des risques.</li> <li>• Modèles de gouvernance multipartites.</li> <li>• Cogestion pour des ressources communes durables.</li> <li>• Coopératives et partenariats.</li> <li>• Myopie politique.</li> <li>• Systèmes d'échange de quotas d'émission.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements géopolitiques.</li> <li>• Déglobalisation et délocalisation.</li> <li>• Relations mondiales Nord – Sud.</li> <li>• Droits des générations futures.</li> <li>• Écologisation par la réglementation.</li> <li>• Cohésion européenne.</li> <li>• Déséquilibre et inadéquation des structures de gouvernance.</li> </ul>
<b>Technologies et innovations sociales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traçabilité des biens et des matières premières.</li> <li>• Changer le mode de production des biens.</li> <li>• Secteur de la construction.</li> <li>• Industrie du transport et de la logistique.</li> <li>• Réduire – Réutiliser – Recycler.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capteurs à distance de plus en plus déployés.</li> <li>• Utilisation croissante de l'automatisation.</li> <li>• Intelligence artificielle pour tous.</li> <li>• Robots collaboratifs.</li> <li>• Infrastructures résistantes au climat.</li> </ul>

↑ **TABLEAU 1 Facteurs de changement identifiés.**





- **État minimal** : la majorité des géants de l'industrie verte sont situés en Chine, en Inde et aux États-Unis, et la capacité de l'Europe à fixer des normes industrielles est limitée. Son autonomie stratégique est faible. La capacité technologique de la région, par exemple dans le domaine numérique, n'atteint pas le niveau des leaders mondiaux.

→ **Demande de main-d'œuvre (Dem)**

- **État maximal** : en 2050, la demande de compétences vertes sur le marché du travail a fortement augmenté. La plupart des emplois requièrent des compétences vertes. Les politiques européennes et nationales veillent à ce que les écosystèmes parviennent à fournir ces compétences.

- **État minimal** : en 2050, la demande de compétences vertes sur le marché du travail en Europe est faible, comparativement à d'autres secteurs.

→ **Offre de main-d'œuvre (Off)**

- **État maximal** : en 2050, un nombre très important d'employés en Europe possèdent des compétences vertes et ont les compétences nécessaires pour occuper des emplois verts.

- **État minimal** : en 2050, le marché européen de l'emploi ne dispose que d'un nombre limité de travailleurs capables d'occuper des emplois verts.

**Les scénarios**

La combinaison des quatre dimensions précédemment évoquées, dotées chacune de deux états, peut conduire à la création de seize scénarios différents. L'objectif des scénarios est de permettre une vision large, qui ne se prétend pas exhaustive, des différentes évolutions possibles : il a ainsi été décidé d'investiguer quatre scénarios suffisamment contrastés pour balayer une large partie du spectre. Les quatre dimensions (*Env*, *Lead*, *Dem*, *Off*) sont considérées soit à l'état maximal (+), soit à l'état minimal (-), selon les scénarios. Ce choix arbitraire a été dicté en particulier par le souhait de donner une vision équilibrée de chacune des dimensions (autant de valeurs positives que de valeurs négatives pour chacune d'entre elles), et aussi de faciliter la conception de scénarios cohérents permettant de nourrir un récit facilement compréhensible pour le lecteur.

→ **Scénario A (Env+, Lead+, Dem+, Off-) « Une Europe verte à forte intensité technologique » : des difficultés à pourvoir tous les emplois verts**

L'UE occupe une position de leader mondial dans les technologies vertes, grâce à des efforts harmonisés. Elle exporte son savoir-faire et est devenue le moteur pour une évolution vers une planète plus verte. Quoique les émissions passées continuent de réchauffer la planète, le monde n'a pas

atteint des points de basculement majeurs. L'UE est le leader mondial dans les technologies d'atténuation du changement climatique qui limitent les émissions de gaz à effet de serre, génèrent des énergies renouvelables et une production alimentaire durable. Elle montre la voie en matière d'énergie propre : la production d'énergie est assurée par des sources renouvelables (solaire, éolien, hydroélectrique, géothermique) et le nucléaire. Elle excelle aussi dans les technologies d'adaptation au changement climatique qui protègent contre les conditions météorologiques extrêmes (canicules, inondations, etc.). Elle a cependant connu un changement démographique : la population a diminué et vieilli. Les emplois dans la technologie des énergies renouvelables, la construction et l'urbanisme durables sont difficiles à pourvoir.

→ **Scénario B (Env-, Lead+, Dem-, Off+)**

« **Bientôt l'apocalypse** » : une lutte contre l'inadéquation des compétences dans un contexte environnemental dégradé

En 2050, la détérioration brutale du climat et la multiplication des événements naturels extrêmes sont des faits acquis : l'environnement se trouve dans une situation critique dans le monde entier. L'UE joue un rôle de premier plan dans les technologies vertes, avec des exportations en plein essor. Les États limitent leur action au régalién et l'initiative économique est le fait du privé. La société est polarisée. D'une part, des entreprises performantes axées sur l'exportation, qui ont intégré la composante verte dans de nombreux domaines (énergie, biotechnologie, construction, science des matériaux, transports), emploient une partie de la population hautement qualifiée. D'autre part, des entreprises moins dynamiques, actives sur un marché intérieur en détresse, produisent pour une population appauvrie qui souffre des nombreux dommages causés par les catastrophes naturelles. En raison d'un manque de ressources, ces entreprises des secteurs non écologiques prennent du retard dans l'intégration de solutions vertes dans leur offre de produits.

→ **Scénario C (Env-, Lead-, Dem-, Off+)**

« **Un monde en souffrance** » : une main-d'œuvre laissée pour compte dans un monde non vert

Le monde subit des contraintes environnementales croissantes dues au changement climatique. L'UE et ses entreprises sont à la traîne dans le déploiement et l'utilisation des technologies vertes. La plupart des géants de l'industrie verte sont en Chine, en Inde et aux États-Unis, et la capacité de l'UE à influencer sur les normes industrielles est limitée. La capacité technologique de la région, par exemple dans le domaine numérique, n'atteint pas le niveau des leaders mondiaux. Une part importante



© Frédéric Michaud pour l'INRS/2024

des emplois verts y est dédiée à la limitation des effets négatifs des dommages causés à l'environnement par des industries lourdes encore polluantes. Au cours des années 2020 à 2050, de nombreuses personnes ont acquis des compétences vertes en pensant qu'elles seraient demandées. Toutefois, vu l'état du marché vert de l'UE, bon nombre de ces compétences sont redondantes ou dépassées.

#### → Scénario D (Env+, Lead-, Dem+, Off-)

##### « Le saut vert » : l'Europe, vieille et déséquilibrée, entourée de nouveaux géants verts

En 2050, l'UE n'a pas suivi le bond en avant du reste du monde, en particulier dans le domaine de l'environnement. Les jeunes quittent l'UE pour travailler dans des pays qui ont des programmes écologiques « positifs ». L'absence de leadership européen entraîne également le transfert d'entreprises européennes vers d'autres régions, au détriment de sa souveraineté. Certains pays de l'UE commencent à s'aligner sur des leaders verts extra-européens plutôt que de promouvoir l'Europe. Les systèmes de compétences ne sont pas en phase avec les évolutions mondiales, où de nouvelles combinaisons démographiques apparaissent pour combler les déficits de compétences. La plupart

des produits issus des technologies vertes étant fabriqués en dehors de l'Europe, l'accent y est mis sur la fourniture de biens et de services de faible niveau technologique (par exemple, des produits de niche et de forte valeur ajoutée issus de l'artisanat ou de l'agriculture) ou la production de masse. À l'horizon 2050, l'UE tente de restructurer ses systèmes économiques et de compétences en versions plus « durables ».

#### Discussion et principaux enseignements

La contribution d'une vingtaine d'experts provenant de disciplines et d'horizons professionnels très variés a permis de préciser le concept d'emploi vert et son « écosystème ». D'ici 2050, la nature de la technologie, comme celle du climat et de l'environnement dans lesquels les humains vivent, évolueront, et donc, la notion d'emploi vert aussi. Les politiques de soutien à la R&I devront intégrer ce caractère évolutif, d'autant qu'elles ne produiront leurs fruits, compte tenu des contraintes de développement et de mises sur le marché, que 10 ou 15 ans après l'aboutissement des travaux subventionnés. À travers la notion d'emploi vert, c'est toute la diversité des activités mobilisées pour verdir la société qui apparaît : au-delà des emplois



permettant de mieux respecter l'environnement et d'économiser les ressources naturelles, surgit aussi la nécessité de réparer ce qui a été abimé ou de s'adapter à un nouveau contexte.

On connaît déjà le traitement des eaux et des terres polluées, d'autres techniques devront probablement être développées, comme la séquestration du dioxyde de carbone ou l'adaptation de l'agriculture à des conditions climatiques nouvelles.

D'autre part, certaines activités peuvent être considérées comme vertes parce qu'elles permettent de diminuer les émissions de certains polluants ou de dioxyde de carbone, par exemple l'utilisation des automobiles électriques, alors que les conditions d'extraction (ou de recyclage) de certaines matières premières utilisées pour ces produits contribuent ailleurs à une dégradation de la situation environnementale.

La politique de R&I pourrait dès lors inclure dans ses critères de choix une délimitation de « couloirs verts » – inspirés de la pensée du Doughnut [7] – avec des seuils minimaux et maximaux de « verdissement » et d'applications vertes : l'objectif serait d'optimiser les gains dans un domaine jusqu'au point où ils représentent un véritable progrès par rapport aux effets délétères qu'ils peuvent produire dans un autre segment. En particulier, il pourrait être important, bien que difficile, d'ouvrir des discussions sur la manière dont les politiques de R&I pourraient être mises en œuvre dans le but spécifique de comprendre les limites des solutions dites « vertes » dans une approche holistique.

Même si les scénarios proposés sont très différents, ils conduisent tous à certaines conclusions communes :

- il n'y aura pas de transition verte sans une base de compétences solides acquises lors de la formation initiale et tout au long de la carrière professionnelle : les emplois verts seront tous fortement impactés par un niveau technologique croissant (que ce soit dans l'emploi lui-même ou dans son environnement) et par la nécessité de mettre fréquemment à jour les connaissances en raison des innovations technologiques ;
- cela impliquera donc pour tous les travailleurs d'être capables d'évoluer dans un environnement où l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) sera très présente ; mais pour beaucoup d'entre eux, il ne sera pas nécessaire d'aller au-delà de l'utilisation des interfaces permettant la mise en œuvre de ces technologies : un certain nombre de métiers seront avant tout manuels, mais nécessiteront d'avoir les connaissances de base (et la capacité de les actualiser) permettant l'utilisation de ces TIC.

Les scénarios accordent beaucoup d'attention au risque perçu d'une polarisation accrue de la société. Ils soulignent que la population qui travaille dans

des emplois verts est répartie dans de nombreux secteurs économiques et types d'emplois. L'un des messages pourrait être que les décideurs politiques doivent mieux prendre en considération les contributions « vertes » essentielles de nombreuses professions traditionnelles, de la collecte des déchets à la réparation de bicyclettes, en passant par la gestion des forêts. Présenter les « emplois verts » comme quelque chose d'exclusivement nouveau pourrait rendre un mauvais service à la transition écologique, si cela amène à négliger des secteurs importants du marché du travail dans lesquels la composante verte serait ignorée, et si cela implique que l'on n'accorde pas assez d'attention au développement des compétences de la main-d'œuvre peu qualifiée.

Une autre conséquence importante est que les politiques d'innovation devraient également stimuler les solutions de faible technicité et faciles à adapter. De même, il convient de développer le soutien aux PME pendant la transition verte.

Enfin, si les voies du développement vert sont façonnées par les technologies émergentes, elles devraient également être façonnées par les compétences vertes. Or, la nature du développement technologique est l'une des inconnues de tous les scénarios. Par ailleurs, le groupe de travail arrive à la conclusion qu'une nouvelle « ère de l'IA » pourrait fondamentalement modifier les rôles et les fonctions de l'homme sur le futur marché du travail. Si la dépendance excessive à l'égard de la technologie est considérée comme une explication potentielle des résultats futurs les moins souhaités, il est tout à fait nécessaire d'examiner comment la numérisation et la soutenabilité peuvent interagir.

### Déclinaisons SST et perspectives

À partir des résultats de l'étude européenne et des résultats obtenus au cours de différents travaux de prospective menés ces dernières années par l'INRS [8,9], cette dernière partie illustre, à travers quelques exemples, ce par quoi les grandes tendances identifiées pourraient se traduire en matière de développements de politiques de prévention des risques professionnels.

L'étude européenne insiste beaucoup sur le fait que les emplois verts concerneront aussi des emplois relativement peu qualifiés. On pense en particulier aux activités ayant trait au traitement et au recyclage des déchets. D'un point de vue santé et sécurité au travail (SST), il importe donc que les progrès technologiques annoncés soient mis à contribution pour concevoir des installations de travail où les contraintes posturales, les manutentions, les risques d'exposition aux polluants chimiques ou biologiques, etc., sont évalués et traités en amont (en particulier, concernant la maintenance et le nettoyage).



Dans le même ordre d'idée, des activités disparues en Europe, liées à la réparation ou à la réutilisation d'objets, et pour lesquelles le savoir-faire s'est perdu, pourront être réimaginées afin d'être effectuées dans de bonnes conditions de travail. L'objectif, pour parfaire le caractère vert de l'emploi, sera d'éliminer toute pénibilité lors de ces opérations. Là aussi, la conception aura son rôle à jouer : les biens devront avoir été conçus afin de permettre cette réparabilité dans de bonnes conditions de travail. Cela ne peut se mettre en place qu'au fur et à mesure du verdissement de la production, dont le caractère graduel a été souligné dans les différents scénarios. En matière de SST, il faudra aussi prendre en compte cette progressivité pour éviter une dégradation des conditions d'un travail soumis à des exigences de progrès environnemental qui seraient trop fortes ou trop rapides, compte tenu de l'état des techniques et des tâches à effectuer.

La relocalisation de certaines activités précédemment délocalisées (métallurgie primaire, fabrication de médicaments), afin d'économiser l'énergie et de mieux rentabiliser les politiques de recyclage, s'inscrira dans un contexte où un nouvel apprentissage de la prévention des risques professionnels spécifique à ces métiers devra être fait. De la même façon que ces activités devront être vertes, elles devront respecter la santé et la sécurité des travailleurs.

L'étude européenne a souligné à juste titre l'importance de la technologie pour le développement des emplois verts. Il s'agit également d'un apport potentiel très important pour la SST. Tout ce qui peut diminuer la pénibilité au poste de travail est en particulier invoqué. En agriculture, l'utilisation de robots (autonomes ou d'assistance physique) pour le désherbage par exemple permet de diminuer l'utilisation d'intrants (produits phytosanitaires), mais aussi d'éviter des postures pénibles aux travailleurs.

Ce genre de considération vaut aussi pour le secteur du bâtiment. Tant pour la rénovation que pour le bâti neuf, il est vraisemblable que des matériaux biosourcés vont être utilisés, notamment en raison de leur pouvoir isolant.

Loin de l'image artisanale qu'ils peuvent évoquer, ces matériaux se prêtent très bien à une logique de préconstruction en atelier pour un montage simple et rapide sur le terrain, réduisant les phases de chantier. Cela vaut tant pour la construction de maisons individuelles que pour des immeubles, qu'ils soient d'habitation ou destinés à une activité professionnelle. La prévention peut être améliorée dans des installations fixes qui peuvent être plus facilement équipées de dispositifs de protection collective. De plus, les phases de chantier, souvent plus accidentogènes, peuvent être organisées de façon plus rigoureuse dans la durée [10].

Ces quelques exemples montrent bien que l'intégration de la SST à la réflexion sur l'évolution des emplois verts dans les décennies à venir est indispensable et qu'elle contribue à la pertinence du travail de prospective présenté ici, puisqu'elle permet de répondre au cahier des charges défini par l'UE pour « *des emplois de qualité dans des secteurs de qualité, c'est-à-dire des emplois qui offrent des conditions satisfaisantes d'un point de vue statique et dynamique (y compris dans leur devenir), dans des secteurs économiquement, socialement et écologiquement durables* » [11]. ●

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] **MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE** – *Horizon Europe, c'est quoi ?* Accessible sur : <https://www.horizon-europe.gouv.fr/horizon-europe-c-est-quoi-24104>
- [2] **MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE** – *A strong European R&I foresight community to better inform R&I policy decisions in the European research area about potential futures.* Accessible sur : <https://www.horizon-europe.gouv.fr/strong-european-ri-foresight-community-better-inform-ri-policy-decisions-european-research-area>
- [3] **FUTURES 4 EUROPE** – *European R&I foresight and public engagement for Horizon Europe.* Accessible sur : <https://www.futures4europe.eu/projects/european-ri-foresight-and-public-engagement-for-horizon-europe>
- [4] **HÉRY M., MALENFER M.** – Development of a circular economy and evolution of working conditions and occupational risk: a strategic foresight study. *European journal of future research*, 2020, 8, p. 8. Accessible sur : <https://doi.org/10.1186/s40309-020-00168-7>
- [5] **HÉRY M., MALENFER M., DEVEL S., LEVERT C.** – Evolution of working conditions under the impact of ICTs. *Journal of safety research*, 2021, 77, pp. 268-276. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.03.009>
- [6] **EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION, KNUDSEN M., CANIÉLS M., ET AL** – *Futures of green skills and jobs in Europe in 2050 – Scenarios and policy implications.* Publications Office of the European Union, 2024. Accessible sur : <https://data.europa.eu/doi/10.2777/36430>
- [7] **WIKIPEDIA** – *Doughnut (modèle économique).* Accessible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Doughnut\\_\(mod%C3%A8le\\_%C3%A9conomique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Doughnut_(mod%C3%A8le_%C3%A9conomique))
- [8] **HÉRY M., MALENFER M., MONTAGNON C.** – Économie circulaire : un exercice de prospective pour identifier les enjeux en santé et sécurité au travail. *Références en santé au travail*, 2019, 159, TM 53, pp. 99-107. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2053>
- [9] **HÉRY M., LEVERT C.** – Quelle prise en charge des risques professionnels en 2040 ? Retour sur un exercice de prospective. *Références en santé au travail*, 2017, 149, TM 40, pp. 85-90. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2040>
- [10] **BALZER J., BURY M., DELAGE A. ET AL.** – Les bâtiments de demain, quels enjeux de santé et de sécurité au travail ? *Hygiène & sécurité du travail*, 2022, 267, VP 35, pp. 107-116. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=VP%2035>
- [11] **EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION, DIXSON-DECLÈVE S., DUNLOP K. ET AL.** – *Industry 5.0 and the future of work – Making Europe the centre of gravity for future good-quality jobs.* Publications Office of the European Union, 2023. Accessible sur : <https://data.europa.eu/doi/10.2777/685878>



# MOINS FORT LE BRUIT



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles - 65 bd Richard-Lenoir 75011 Paris - [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) - Designer graphique : Éva Minem - © INRS 2020 - AD 840

Pour en savoir plus :  
[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)





## **HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL (HST)**

publication éditée par  
l'INRS, Institut national de  
recherche et de sécurité pour  
la prévention des accidents  
du travail et des maladies  
professionnelles

65, boulevard Richard-Lenoir  
75011 Paris – France  
Tél.: 01 40 44 30 00  
Dépôt légal :  
3<sup>e</sup> trimestre 2024  
n°2401.0061  
ISSN 0007-9952  
[www.inrs.fr/publications/  
hst/dans-ce-numero.html](http://www.inrs.fr/publications/hst/dans-ce-numero.html)

### **INRS service abonnements**

Service Magasin, gestion,  
diffusion, édition et  
reproduction (MGDER)  
Hygiène & sécurité du travail  
Rue du Morvan, CS 60027  
Tél.: 03 83 50 20 08 /  
03 83 50 98 61  
[abo.revues@inrs.fr](mailto:abo.revues@inrs.fr)

Prix au numéro: 22,00 €  
Tarifs abonnement pour  
1 an / 4 numéros:  
France: 76,00 €  
DOM-TOM: 83,00 €  
Autres zones: 89,00 €

### **Photogravure**

Keygraphic

### **Impression**

Corlet Imprimeur  
14110 Condé-sur-Noireau  
France

L'autorisation de reproduire  
totalement ou partiellement  
des articles parus dans  
Hygiène et sécurité du travail  
(HST) doit être sollicitée  
à l'avance et par écrit.  
Toute reproduction, quel  
qu'en soit le support  
(à l'exception des copies  
à usage interne), qui n'aurait  
pas été précédée d'un accord  
préalable, serait effectuée  
en violation des droits  
de l'éditeur.



**Retrouvez  
tous les articles sur  
[www.hst.fr](http://www.hst.fr)**