

# RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL

> Revue trimestrielle de l'INRS

## CYBERCINÉTOSE EN MILIEU PROFESSIONNEL

→ La maladie de la réalité virtuelle

## EFFETS SUR LA SANTÉ DES HORAIRES LONGS DE TRAVAIL

→ Revue de la littérature

## NOIR DE CARBONE NANOSTRUCTURÉ

→ Vers une valeur limite d'exposition professionnelle

## Abonnez-vous en ligne

La revue trimestrielle *Références en Santé au Travail* est diffusée aux acteurs des services de santé au travail. L'abonnement gratuit est établi pour une durée de deux ans. Un avis de réabonnement est envoyé à échéance.

**+ D'INFOS**  
[www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr)

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

STÉPHANE PIMBERT

### COMITÉ DE RÉDACTION

Rédacteur en chef : BERNARD SIANO

Rédactrice en chef adjointe : ANNE DELÉPINE

Rédactrice : EMMANUELLE PERIS

Secrétaire générale de la rédaction : ANNE SCHALLER

Chargée d'études bibliographiques et de veille : ANNIE BIAOUI

Correctrice : CYNDIE JACQUIN-BRISBART

Chargée de rubrique Allergologie professionnelle :  
NADIA NIKOLOVA-PAVAGEAU

Relecteurs et conseillers médicaux : CATHERINE AUBRY,  
MARIE-CÉCILE BAYEUX-DUNGLAS, STÉPHANE MALARD

Assistante de gestion : DÉBORAH PAYAN

### COMITÉ SCIENTIFIQUE

AGNÈS AUBLET-CUVELIER, *Département Homme au travail, INRS*

CATHERINE AUBRY, *Direction des Études et recherches, INRS*

CHRISTINE DAVID, *Département Expertise et conseil technique, INRS*

MARIA GONZALEZ, *Service de pathologie professionnelle, hôpital civil de Strasbourg*

GUY HÉDELIN, *Département Épidémiologie en entreprise, INRS*

PATRICK LAINE, *Département Expertise et conseil technique, INRS*

FAHIMA LEKHCHINE, *Département Information et communication, INRS*

SERGE MÉSONIER, *Association française des intervenants en prévention des risques professionnels de services interentreprises de santé au travail, Cergy-Pontoise*

GÉRARD MOUTCHE, *Département Formation, INRS*

SYLVIE ODE, *Groupement des infirmier(e)s du travail, Paris*

CHRISTOPHE PARIS, *Centre de consultation de pathologie professionnelle et de médecine environnementale, Centre hospitalier de Rennes*

ALAIN ROBERT, *Département Toxicologie et biométrie, INRS*

### ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO

DOMINIQUE ABITEBOUL, LAURELINE COATES-VERLEY, PHILIPPE HACHE ET L'ATELIER CAUSSE

## ACTUALITÉS

RÉF. PAGE	
AC 143 P. 5	<b>INFOS À RETENIR</b> Contaminations professionnelles par le VIH, le VHC et le VHB chez le personnel soignant : le point au 31 décembre 2018
AC 144 P. 8	Avis de l'ANSES relatif aux « Risques sanitaires pour les travailleurs liés aux activités de gestion des déchets »
AC 145 P. 9	Prévention des conduites addictives : un outil de sensibilisation ludique
AC 146 P. 10	Particules fines : pour un nouveau souffle dans le BTP
P. 13	<b>PARTICIPEZ À LA RECHERCHE</b> Exposition professionnelle aux diisocyanates : étude de biosurveillance dans le cadre du projet européen HBM4EU
P. 14	<b>NOUVEAUTÉS DE L'INRS</b> Brochures, affiches, dépliants, documents en ligne...

## CONNAISSANCES ET RÉFÉRENCES

RÉF. PAGE	
TC 168 P. 19	<b>GRAND ANGLE</b> Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle
TC 169 P. 39	Effets sur la santé des horaires longs de travail : revue de la littérature
TF 276 P. 49	<b>VU DU TERRAIN</b> Évaluation de l'impact psychologique du télétravail
TF 277 P. 59	Bisphénol S dans le papier thermique : quelle exposition cutanée pour les agents de caisse ?
TF 278 P. 67	Appareils de protection respiratoire utilisés dans les établissements de santé français dans le cadre des précautions « air » en 2018
TF 279 (16 p.)	<b>SUMER : quels sont les salariés concernés par le télétravail ?</b> <i>(uniquement sur le site de la revue)</i>
TD 270 P. 75	<b>SUIVI POUR VOUS</b> Consommations (avec ou sans produits) et milieux professionnels : quelle prévention en 2019 ? Colloque de la SFMT. Paris, 20 septembre 2019
TD 271 P. 83	Infirmier de santé au travail : un expert pour la santé des salariés. 13 <sup>es</sup> Journées d'études et de formation du Groupement des infirmiers de santé au travail (GIT). Toulouse, 9-11 octobre 2019
TP 38 P. 89	<b>MISE AU POINT</b> Bruits impulsionnels, un danger mal connu ?
TP 39 P. 97	L'infection à cytomégalo virus : où en est-on ?
TP 40 P. 107	Cybercinétose en milieu professionnel

## OUTILS REPÈRES

RÉF. PAGE

- VOS QUESTIONS/NOS RÉPONSES**
- QR 145 P. 117 Exposition aux rayonnements ionisants : quelles informations dosimétriques peuvent être transmises ?
- QR 146 P. 119 Vibrations transmises par les machines portatives : faut-il privilégier les machines thermiques ou électriques ?
- QR 147 P. 120 Travailleurs prestataires ou sous-traitance : quelles sont les obligations des différents employeurs, notamment en matière de risques psychosociaux ?
- RISQUES PSYCHOSOCIAUX**
- FRPS 13 P. 123 *Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS)*

## À VOTRE SERVICE

PAGE

- P. 129 AGENDA
- P. 131 FORMATIONS
- P. 135 À LIRE, À VOIR
- P. 137 RECOMMANDATIONS  
AUX AUTEURS

## RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL

[www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr)

### EN LIGNE :

Enquête SUMER 2016-2017 : quels sont les salariés concernés par le télétravail ?  
TF 279, 16 p.

**ABONNEZ-VOUS  
GRATUITEMENT  
À LA REVUE**

**EN UN CLIC  
ET POUR 2 ANS :**

[www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr)

Chaque mois, la rubrique « Juridique » est à retrouver sur : [www.inrs.fr/header/actualites-juridiques.html](http://www.inrs.fr/header/actualites-juridiques.html)

1

# ACTUALITÉS

P. 5 **INFOS À RETENIR**

P. 13 **PARTICIPEZ À LA RECHERCHE**

P. 14 **NOUVEAUTÉS DE L'INRS**

# Contaminations professionnelles par le VIH, le VHC et le VHB chez le personnel soignant : le point au 31 décembre 2018

**L**a transmission possible aux professionnels de santé de virus tels que le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) mais aussi de l'hépatite C (VHC) et de l'hépatite B (VHB) lors d'accidents exposant au sang (AES) a incité à analyser les facteurs de risque de ces accidents et à développer des stratégies de prévention pour améliorer la sécurité des soignants. L'application des précautions standard ainsi que l'utilisation de matériels de sécurité ont notamment permis de diminuer la fréquence des AES [1, 2]. Le caractère évitable de ces accidents n'est cependant pas absolu, d'où l'importance d'une surveillance des AES, mise en place au sein de chaque établissement de soins par le médecin du travail, afin de suivre leurs circonstances de survenue, qui peuvent varier en fonction de modifications dans l'organisation du travail, la formation des personnels, le choix de matériels...

*\* Ce délai de 6 mois est à visée de surveillance. En revanche, le délai actuellement retenu comme critère médico-légal de reconnaissance d'une séroconversion professionnelle est de 6 semaines (arrêté du 27 mai 2019).*

Parallèlement à la surveillance des AES, un recensement des contaminations virales survenues chez des soignants dans les suites d'un AES est essentiel afin de caractériser les accidents à haut risque de transmission.

Une surveillance des contaminations professionnelles VIH, VHC et VHB survenues après un AES a ainsi été mise en place par l'InVS (Institut de veille sanitaire) (devenu Santé Publique France), en lien avec le GERES (Groupe d'étude sur le risque d'exposition des soignants aux agents infectieux) en 1991 pour le VIH, en 1997 pour le VHC et en 2005 pour le VHB. Depuis le 1<sup>er</sup> mai 2017, elle a été transférée, par Santé Publique France, au GERES qui en assure la mise en œuvre. L'analyse des données est assurée en collaboration avec Santé Publique France dans le strict respect de la confidentialité.

Les objectifs de la surveillance sont de participer à l'identification et à la prévention des expositions professionnelles à haut risque et d'aider à l'amélioration de la prise en charge après exposition (suivi biolo-

gique, prophylaxie post-exposition). Elle est complémentaire de celle des AES.

## Définitions

### Séroconversion professionnelle

Dans le cadre de cette surveillance épidémiologique, une séroconversion professionnelle chez un personnel de santé est définie par l'ensemble des critères suivants :

- une exposition professionnelle accidentelle percutanée ou cutanéomuqueuse à du sang ou à un liquide biologique potentiellement contaminant ;
- un statut viral négatif au moment de l'exposition (anticorps (Ac) anti-VIH, Ac anti-VHC ou antigène HBs et Ac anti-HBc négatifs) ;
- une séroconversion VIH, VHC ou VHB dans les 6 mois\* après l'exposition (apparition des Ac anti-VIH ou des Ac anti-VHC ou des AgHBs et Ac anti-HBc négatifs, ou détection de l'ARN du VIH ou du VHC par PCR suivie d'une positivité des anticorps).

En l'absence d'une sérologie de base négative réalisée au moment de l'exposition, un profil d'infection récente dans les suites d'une exposition accidentelle permettra aussi de définir une séroconversion professionnelle, tout comme une comparaison des souches virales montrant la similitude du virus du patient source et de la victime.

### Infection présumée

Concernant le VIH, sont aussi recueillies les infections présumées, qui sont définies par la découverte d'une séropositivité VIH chez un personnel de santé ayant exercé au contact de patients infectés par le VIH, ce soignant n'ayant pas d'autre mode de contamination pour le VIH retrouvé. Cette définition n'est pas utilisée pour les hépatites, car il est plus difficile d'éliminer les facteurs de risque non professionnels.

### Sources d'information

Les sources d'information sont principalement les médecins du travail mais aussi les CPIAS (Centre de prévention des infections associées aux soins), infectiologues, hépatologues. Elles sont complétées par l'analyse des déclarations obligatoires d'infections VIH chez les professionnels de santé et les signalements éventuels d'infections nosocomiales.

Les données sont recueillies sur la base de questionnaires non nominatifs, disponibles sur le site du GERES (encadré). Les informations collectées font l'objet d'un traitement informatique autorisé par la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) et sont publiées de manière totalement anonyme, sans faire notamment apparaître le nom des établissements d'appartenance des soignants.

### Résultats

#### Contaminations professionnelles VIH

Le nombre de contaminations VIH chez le personnel de santé déclarées au 31 décembre 2018 sur près de 30 ans, s'élève à 14 et le nombre d'infections présumées à 35. La distribution des contaminations VIH au cours du temps est présentée en figure 1. La dernière remonte à 2004.

Il s'agit de 13 piqûres avec aiguille creuse, majoritairement lors de prélèvements veineux chez des infirmier(ière)s et d'une projection massive au visage chez un secouriste. Au moins 8 étaient évitables par l'application des précautions standard.

Parmi les 6 personnels de santé ayant bénéficié d'une prophylaxie antirétrovirale, on ne peut parler d'échec

#### Encadré

### DÉCLARATION DE CONTAMINATION PROFESSIONNELLE PAR LE VIH, LE VHC OU LE VHB APRÈS ACCIDENT EXPOSANT AU SANG (AES)

Tout médecin ayant connaissance d'une contamination professionnelle par le VIH, le VHC ou le VHB après un AES, doit la déclarer en utilisant les formulaires disponibles sur le site du GERES ([www.geres.org/aes-et-risques/epidemiologie-du-risque-infectieux/](http://www.geres.org/aes-et-risques/epidemiologie-du-risque-infectieux/)).

Les formulaires sont à adresser sous pli confidentiel au : GERES

Dr Dominique ABITEBOUL  
UFR de Médecine Bichat  
16, rue Henri Huchard  
75018 PARIS

que chez 4 d'entre eux, qui ont poursuivi leur traitement pendant au moins 15 jours avec une observance semble-t-il correcte (3 monothérapies par AZT en 1990, 1994 et 1996 et une trithérapie en 1997).

#### Contaminations professionnelles VHC

Depuis la mise en place de cette surveillance, et jusqu'au 31 décembre 2018, ont été recensées 73 contaminations professionnelles VHC chez le personnel de santé (figure 2).

Il s'agit essentiellement de piqûres avec des aiguilles intra-veineuses, mais parfois aussi avec des aiguilles creuses ne contenant *a priori* pas de sang (9 sous-cutanées, 2 intra-musculaires) ou avec des aiguilles pleines (2 cas, suture et lancette). Il faut noter que 3

Figure 1 : Contaminations professionnelles par le virus de l'immunodéficience humaine chez le personnel de santé selon l'année de l'accident exposant au sang (AES) (au 31/12/18)

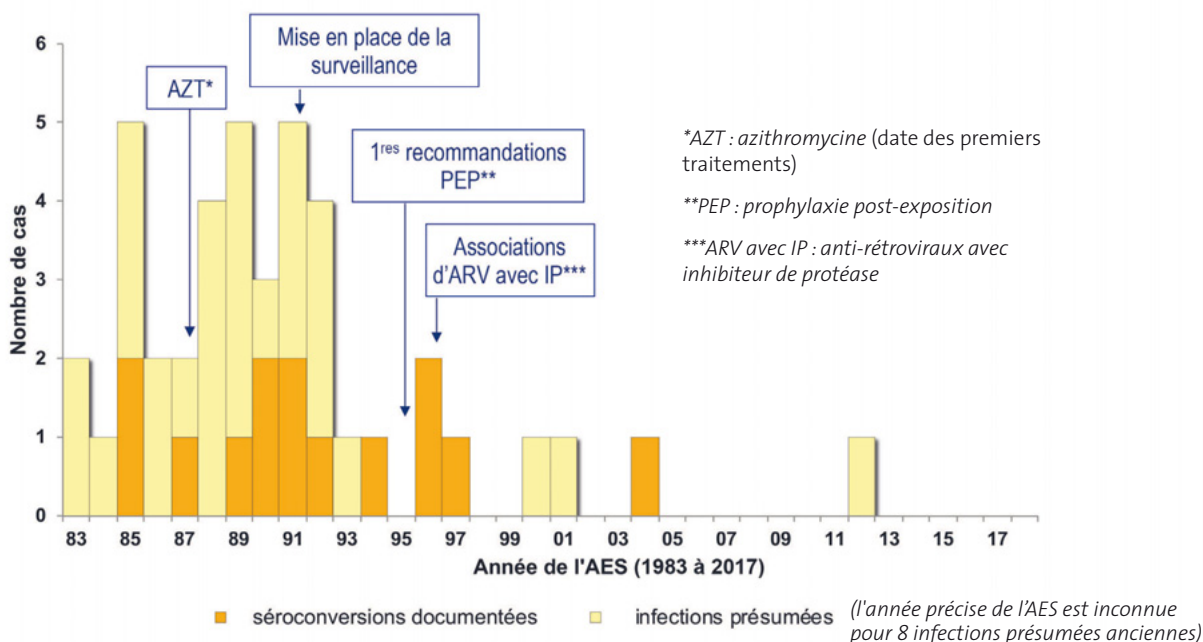
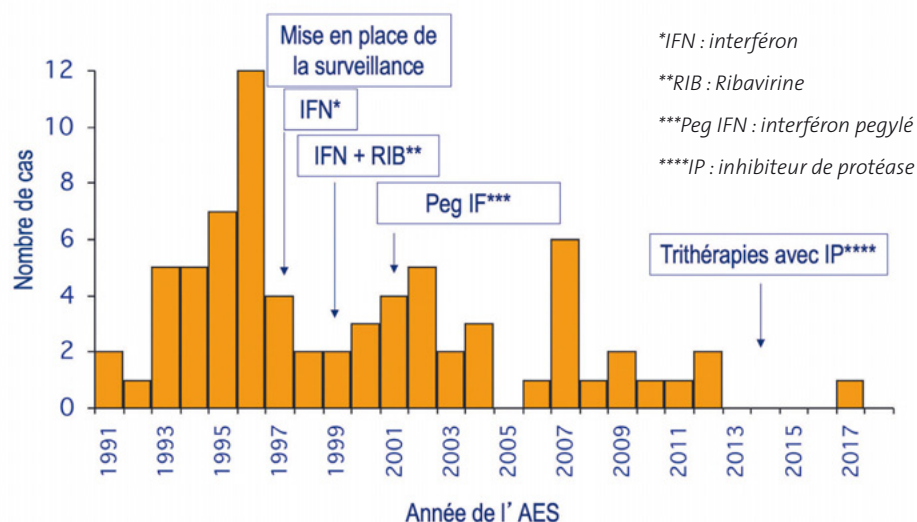


Figure 2 : Contaminations professionnelles par le virus de l'hépatite C documentées chez le personnel de santé selon l'année de l'accident exposant au sang (AES) (au 31/12/18)



séroconversions sont survenues après coupure et 2 suite à un contact sanguin sur peau lésée. La moitié était évitable par le respect des précautions standard. Le dernier cas recensé en 2017 concerne un chirurgien chez qui une contamination professionnelle a été évoquée devant une hépatite C aiguë. Un AES causal a été recherché : un AES survenu plusieurs mois auparavant a été retrouvé mais le patient source était négatif pour le VHC. Cet AES n'est donc pas en cause. Néanmoins, à cette occasion, une sérologie Jo a été réalisée chez le chirurgien montrant une séronégativité VHC. Ce chirurgien a opéré 100 patients entre cette dernière sérologie VHC négative et le diagnostic de son hépatite clinique. Ils ont tous été reconvoqués. Une seule patiente s'est révélée VHC+ avec une charge virale élevée : son infection VHC était connue depuis 1998 mais n'avait jamais été ni explorée ni traitée. Le chirurgien l'avait opérée d'une prothèse de hanche quelques semaines avant l'apparition de l'hépatite aiguë. Il ne se souvenait pas d'un AES précis lors de l'intervention mais celle-ci fut longue, hémorragique, avec fracture du trochanter nécessitant une ostéosynthèse, ce qui rend les piqûres hautement probables et les projections abondantes. La responsabilité de cette patiente dans la contamination a été affirmée par génotypage et séquençage des virus permettant d'en assurer l'identité.

### Contaminations professionnelles VHB

Aucune séroconversion VHB n'a été déclarée depuis 2005.

### Discussion et conclusion

Même si l'exhaustivité de cette surveillance est difficile à évaluer, l'existence de sources d'information multiples permet de limiter la sous-déclaration. En particulier, la déclaration obligatoire des infections

VIH dès la découverte de la séropositivité VIH est une source d'information utile et complémentaire par rapport aux notifications de contamination professionnelle VIH faites par les médecins du travail.

La surveillance montre que le nombre de contaminations par le VIH ou le VHC a diminué au cours du temps, en particulier concernant le VIH, puisqu'aucun cas n'a été déclaré depuis 2004. Le faible nombre de contaminations pendant les années les plus récentes peut s'expliquer par la poursuite des efforts de prévention des AES, ayant permis une diminution de leur incidence.

D'autres facteurs jouent également un rôle important, comme les traitements antirétroviraux post-exposition au VIH dont l'efficacité a été démontrée et les progrès thérapeutiques accomplis en matière de prise en charge des patients infectés par le VIH ou le VHC qui permettent une chute voire une négativation de leur charge virale et donc une baisse de leur infectiosité.

L'absence de contamination VHB témoigne de l'efficacité de la vaccination, obligatoire chez les soignants.

### Remerciements à tous les médecins qui participent à cette surveillance.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] FLORET N, ALI BRANDEMEYER O - Surveillance des accidents avec exposition au sang dans les établissements de santé français. Réseau AES-RAISIN. France. Résultats 2015. Santé Publique France, 2017 (<https://www.santepubliquefrance.fr/docs/surveillance-des-accidents-avec-exposition-au-sang-dans-les-etablissements-de-sante-francais.-reseau-aes-raisin-france.-resultats-2015>).
- [2] LAMONTAGNE F, ABITEBOUL D, LOLOM I, PELLISSIER G ET AL. - Role of safety-engineered devices in preventing needlestick injuries in 32 French hospitals. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2007 ; 28 (1) : 18-23.



# Avis de l'ANSES relatif aux « Risques sanitaires pour les travailleurs liés aux activités de gestion des déchets »



**L'**Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a rendu un avis concernant les risques professionnels dans le secteur de la gestion des déchets. Il s'agit de la première phase de son travail sur ce sujet, dont l'objectif était d'identifier les filières ou flux de déchets d'intérêt en termes de risques sanitaires pour les travailleurs. La deuxième phase consistera en des études de cas pour approfondir les connaissances issues de la première.

L'ANSES rappelle que ce secteur, parmi les plus sinistrés en termes d'accidents de travail, comprend les activités de collecte, de valorisation (transformation des déchets en matière première ou en énergie) et d'élimination. L'activité de valorisation est en plein essor du fait des politiques d'économie circulaire.

De par la grande variété de déchets et de procédés de gestion, les expositions professionnelles potentielles sont multiples : risques chimiques (cancérogènes, par exemple), biologiques (bactéries, moisissures, par exemple), physiques (bruit, vibrations, par exemple), risques liés à l'organisation du travail (manutentions, gestes répétitifs, contraintes posturales, par exemple), risques d'accident liés aux équipements, à la circulation ou aux déchets eux-mêmes (risques électrique, incendie, explosion, risque routier, risque de coupure, par exemple), risques pour la santé psychique (manque de reconnaissance, horaires atypiques, violences externes, par exemple). Sont à noter également le risque d'exposition aux poussières et la problématique de la poly-exposition. Par ailleurs, les risques sanitaires se modifient du fait de l'évolution des produits à traiter (panneaux solaires, par exemple), des activités professionnelles (augmentation des activités de tri) et des technologies de collecte, tri et traitement.

L'ANSES fait le constat d'un manque de données précises sur les risques sanitaires pour les professionnels de la gestion des déchets. Lorsque des données sont disponibles, elles concernent essentiellement les nuisances chimiques.

Lors de cette première phase, une terminologie commune a été établie par le groupe de travail, fournie dans le rapport, et qui définit notamment le terme de filière comme l'ensemble des étapes unitaires (collecte, tri, recyclage...) mises en œuvre pour la gestion d'un type de déchet, de sa production jusqu'à sa valorisation ou son élimination. Une liste de filières a ainsi été dressée pour être analysées en termes de risques sanitaires pour les salariés. Le groupe de travail a également défini les critères à étudier : quantités de déchets, effectifs de travailleurs, dynamiques socio-économiques et techniques (ancienneté de la filière et évolution probable à 5 ans), risques sanitaires pour les travailleurs et leur niveau de documentation (classification réglementaire en dangerosité des déchets, risques chimiques et biologiques, autres types de risques), permettant de catégoriser les filières et de faire des recommandations ciblées.

Ainsi, trois filières présentent un intérêt particulier pour la deuxième phase de cette expertise : les filières « déchets du BTP », « bois » et « emballages ménagers ». L'ANSES conduira en premier lieu une évaluation des risques dans cette dernière filière.

Par ailleurs, les filières « véhicules hors d'usage » et « biodéchets valorisés par méthanisation » sont prioritaires en termes d'acquisition de connaissance, raison pour laquelle l'ANSES propose de les inclure aux projets de recherche du programme national de recherche Environnement-Santé-Travail qu'elle finance.

Enfin, l'ANSES formule des recommandations pour améliorer les connaissances concernant les risques professionnels, la sensibilisation à la prévention de ces risques et le suivi médical des salariés de ce secteur. Elle recommande également d'intégrer les impacts pour la santé de ces professionnels dans les activités d'écoconception.

**Pour en savoir plus :** <https://www.anses.fr/fr/content/gestion-des-d%C3%A9chets-mieux-conna%C3%A9tre-les-risques-sanitaires-pour-les-professionnels>

# Prévention des conduites addictives : un outil de sensibilisation ludique

F. Tallandier, Groupement interprofessionnel médical et social aubois, Troyes

**D**ans le cadre de la prévention des risques liés aux conduites addictives, notamment en lien avec le cannabis, une entreprise de recyclage de déchets électriques et électroniques a sollicité son service de santé au travail (SST) pour l'accompagner dans cette démarche. Le SST a pris en charge l'organisation d'une action de sensibilisation et d'information de l'ensemble des salariés de cette entreprise.

Pour ce faire, l'équipe pluridisciplinaire a recherché des outils adaptés aux différents métiers de l'entreprise (direction, personnel administratif, maintenance, opérateurs des chaînes de tri...) et a contacté l'antenne locale de l'institut régional d'éducation et de promotion de la santé (IREPS), qui met à la disposition des préventeurs ses ressources documentaires.

Un outil particulièrement retenu l'attention du SST : le jeu de l'oie « Kancèton ». Cet outil pédagogique, habituellement utilisé en milieu scolaire et médico-social, permet d'animer des temps d'échanges pour tout public. Il est développé par l'association Oppelia (<https://www.oppelia.fr/>), dont l'objet est d'apporter une aide aux personnes rencontrant des difficultés psychologiques, sociales et sanitaires, en particulier celles liées à l'usage de drogues et aux addictions. Ce jeu a pour objectifs, notamment, d'apporter des connaissances sur les drogues et de faire réfléchir à son positionnement face aux addictions avec ou sans produit. Il est constitué d'un plateau, de pions, de dés et de 120 cartes abordant 4 thèmes : les idées reçues, les usages et effets, les produits et leurs modes de consommation, les lois.

Une sélection des cartes thématiques du jeu « Kancèton » a été réalisée, en privilégiant celles concernant le cannabis. Des cartes supplémentaires ont été rédigées par le médecin du travail et l'infirmière de santé au travail pour prendre en compte l'impact des conduites addictives sur l'activité professionnelle, la conduite de véhicule et la pratique du dépistage en entreprise (conditions du dépistage et organisation...), ainsi que



des informations sur la chicha (pratique souvent banalisée en termes de conséquences pour la santé).

Devant la difficulté de trouver un support de communication adapté aux participants, une plaquette d'information « cannabis et travail » a été parallèlement rédigée à l'intention des salariés et validée en réunion pluridisciplinaire du SST. Elle reprend les thèmes abordés dans les outils d'information en insistant sur les conséquences en milieu de travail. Un test d'évaluation de la consommation est également proposé, avec les adresses utiles des différentes associations dans le département.

L'intervention du SST a été annoncée par une campagne utilisant les affiches de l'INRS concernant les addictions. Les informations/sensibilisations délivrées par le médecin du travail et l'infirmière de santé au travail ont concerné des groupes d'une dizaine de salariés constitués à la fois de personnel de production et de bureau. Deux à trois équipes se sont formé lors des séances pour participer au jeu de l'oie « Kancèton ». Cette approche ludique a favorisé les échanges. Les réactions assez libres au cours de la partie montrent une perception des risques parfois très différente des uns et des autres. Ces séances ont montré une certaine confusion dans la compréhension d'informations relayées par les médias sur le cannabis thérapeutique et l'éventuelle dépénalisation de la consommation, ainsi qu'une relative méconnaissance du dépistage en entreprise et de ses modalités (en particulier du risque de sanction). Les conséquences sur la santé ont été parfois minimisées.

À la fin de chaque séance, la plaquette d'information a été remise en expliquant son contenu et la possibilité de retrouver les différents thèmes abordés.

# Particules fines : pour un nouveau souffle dans le BTP

**L**es 35<sup>es</sup> Journées nationales de santé au travail du Bâtiment et travaux publics (BTP), organisées à Metz en 2019 par le Service interentreprises de santé au travail du Bâtiment, des travaux publics et activités connexes (SIST BTP) de la Lorraine, en partenariat avec le Groupement national multidisciplinaire de santé au travail dans le BTP (GNMST BTP), avaient pour thème : « Particules fines : pour un nouveau souffle dans le BTP ». Elles s'articulaient autour de quatre grands titres : les particules fines passées au tamis ; silice : la transparence cristalline ; soudage : derrière l'écran de fumée ; pleins phares sur le diesel.

## Effets sur la santé des particules fines et ultrafines

Les conséquences sanitaires de l'inhalation de particules sont bien établies dans la littérature. Les données recueillies permettent de dépasser le modèle traditionnel des pneumoconioses sur lequel est basée la réglementation tant sur les aspects d'évaluation de risque, de prévention que de réparation. Les principaux déterminants des effets délétères des particules inhalées sont : la taille des particules et la distribution granulométrique de l'aérosol ; la surface totale et la réactivité de surface ; la structure cristalline ou amorphe ; la chimie intrinsèque et celle de surface ; la solubilité et la biopersistance ; le rapport d'élongation ; la dose et le débit de dose. Les effets peuvent être locaux au niveau broncho-pulmonaire mais aussi à distance du fait de la translocation régionale et systémique des particules, sans oublier des effets indirects secondaires aux réactions inflammatoires pulmonaires.

## Quelle surveillance en cas d'expositions à des cancérogènes bronchiques ?

Les cancers bronchopulmonaires (CBP) sont les plus fréquents des cancers professionnels en France. Les étiologies professionnelles des CBP sont importantes à connaître pour un repérage des situations d'exposition par l'équipe de santé au travail et la mise en place de mesures de prévention. En l'état actuel des connaissances, et en dehors de l'expérimentation, il n'est pas recommandé de pratiquer en routine des scanners thoraciques dans la perspective d'un dépistage du CBP après exposition professionnelle à des cancéro-

gènes respiratoires. En revanche, pour la nuisance « amiante », le suivi post-exposition, puis post-professionnel, défini par la Commission d'audition réunie par la Haute Autorité de santé (HAS) en 2010, pour mettre en évidence d'éventuelles pathologies pleurales ou parenchymateuses bénignes chez les sujets antérieurement exposés, reste d'actualité dès lors que les sujets ont eu un niveau d'exposition cumulée jugé intermédiaire ou fort.

## Effets sanitaires de la silice : résultats de l'Expertise collective de l'ANSES 2019

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a mis en place un groupe de travail « silice cristalline » afin d'actualiser l'ensemble des connaissances concernant les risques pour la santé des professionnels exposés. Concernant la silicose, l'analyse de la littérature met en évidence la fréquence de l'atteinte ganglionnaire, avec présence de nodules silicotiques, isolée ou associée à l'atteinte pulmonaire. Il existe des arguments démontrant que cette forme ganglionnaire précède la silicose pulmonaire et que cette forme devrait être incluse dans la définition de la pathologie. Concernant le CBP, l'analyse des données récentes de la littérature est en faveur d'un lien avéré entre silice et CBP et ce indépendamment de la présence d'une silicose. Le lien entre exposition à la silice et plusieurs pathologies auto-immunes et respiratoires est également confirmé. Enfin, l'analyse des relations dose-réponse silice-silicose, montre clairement que la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) actuelle (0,1 mg/m<sup>3</sup>) est associée à une évaluation de risque individuel supérieur à 1/1000 et doit donc être révisée.

## Évaluation des expositions à la silice cristalline dans le métier de maçon finisseur

Le risque lié aux travaux exposant aux poussières de silice, reconnus cancérogènes par l'Union européenne, demeure sous-estimé et sous-évalué. Une étude métrologique a donc été engagée pour estimer l'exposition à la silice cristalline dans le métier de maçon finisseur afin d'optimiser les moyens de prévention et de protection des travailleurs. Cette étude s'est intéressée aux situations de travail de tronçonnage, de décou-

page, de ponçage, de carottage et de piquage de béton. Treize services de santé au travail et des laboratoires interrégionaux de chimie ont réalisé un total de 87 prélèvements dans 37 entreprises. Un indice d'exposition supérieur à la valeur limite a été trouvé dans 43 % des cas, et 63 % des travailleurs ne bénéficiaient d'aucune protection collective. Néanmoins, 88 % des salariés observés portaient un appareil de protection respiratoire individuel prouvant la prise de conscience de la problématique « poussières ».

### **Caractérisation d'aérosols de silice cristalline lors de sollicitations de matériaux BTP en chambre d'émission**

Une étude a été menée afin de disposer de données sur l'exposition à la silice cristalline d'ouvriers présents sur les chantiers de travaux publics ou de maçonnerie bâtiment. Le protocole de laboratoire mis au point par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) et le GNMST BTP porte sur trois échantillons : une bordure en béton, un pavé en granit et un parpaing. Les deux premiers sont découpés par disqueuse et le dernier percé à l'aide d'une perceuse en vue de simuler les sollicitations usuelles des chantiers. De nombreuses émissions de nano-silice cristalline libre ont été observées pendant les études en laboratoire des découpes de béton et granit. En revanche, le perçage du parpaing a généré préférentiellement des composites de diamètres moyens inférieurs au micromètre sans émission de nano-silice observable. Par ailleurs, la Caisse de retraite et de la santé au travail (CARSAT) Aquitaine a procédé à la détermination de la concentration moyenne de la fraction alvéolaire de silice cristalline montrant des teneurs élevées. Ceci est de nature à alerter sur les niveaux d'exposition dans les chantiers de BTP et montrent l'intérêt de poursuivre ces travaux de recherche.

### **Proposition de surveillance médico-professionnelle des salariés exposés à la silice cristalline**

Une réflexion est lancée pour élaborer des recommandations de surveillance médicale des sujets exposés ou ayant été exposés à la silice cristalline. Des propositions ont été formulées concernant les effets respiratoires non cancéreux et non infectieux (différentes formes cliniques de silicose, bronchopneumopathie chronique obstructive, emphysème), le dépistage serait basé sur les tests fonctionnels respiratoires, voire sur l'imagerie thoracique. En ce qui concerne le risque de tuberculose maladie (TM), celui-ci étant augmenté même en l'absence de silicose déclarée, il semblerait judicieux de proposer un dépistage de la TM mais également de l'infection tuberculeuse latente (ITL). Le rapport coût-efficacité n'apparaît pas en faveur d'un dépistage de l'ensemble des salariés, lequel devrait être réservé aux populations à haut risque d'ITL ou de TM.

En ce qui concerne le risque de CBP, les recommandations HAS/INCa (Institut national du cancer), de 2015, prévoient une expérimentation sur le dépistage de CBP par scanner thoracique faiblement dosé chez les sujets exposés ou ayant été exposés professionnellement à des agents cancérogènes pulmonaires (comme la silice cristalline) et à haut risque de CBP. Pour les autres effets sanitaires établis (insuffisance rénale, maladie auto-immune), il n'y a pas actuellement de dispositions envisagées autre que le suivi clinique à la recherche des manifestations systémiques de ces affections. Ces propositions feront l'objet d'une évaluation dans le cadre de l'élaboration de recommandations sous l'égide de la Société française de médecine du travail.

### **Exposition à la silice, aux fumées de soudage et aux émissions de moteur diesel : résultats de l'enquête SUMER 2017**

En 2017, près de 330 000 salariés du secteur privé étaient exposés à la silice (1,8 % de l'ensemble des salariés), 712 000 aux fumées diesel (3,9 %) et 460 000 aux fumées de soudage (2,5 %). Les durées d'exposition courtes de moins de 2 heures par semaine concernaient 36 % des salariés exposés à la silice, 33 % aux fumées diesel ainsi que 48 % aux fumées de soudage. Dans le secteur de la construction, les ouvriers qualifiés restaient les plus exposés à ces 3 agents. Il est constaté une nette diminution des durées d'exposition pour la silice et les fumées de soudage depuis 2003. Entre 2003 et 2017, la mise en œuvre de la ventilation générale a progressé mais les autres moyens de protection collective sont restés insuffisants. Le port d'équipements de protection individuelle respiratoire a augmenté. La multi-exposition à au moins trois produits chimiques concernait, en 2017, 73 % des salariés exposés à la silice, 75 % aux fumées diesel et 85 % aux fumées de soudage. La connaissance de ces résultats est un levier essentiel pour améliorer la prévention.

### **Exposition aux fumées de soudage : quel impact sur la santé humaine ?**

Les fumées de soudage émises sont composées d'un aérosol chimique complexe, comportant une phase gazeuse et une phase particulaire (micro- et nanoparticulaire), dont la composition chimique varie notamment en fonction du type de technique de soudage, du métal d'apport et du décapant employés. En 2018, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé les fumées de soudage, d'une part, et les radiations ultraviolettes issues du procédé, d'autre part, dans le groupe 1, c'est-à-dire comme agents cancérogènes pour l'homme (CIRC 1). Les déterminants de la toxicité respiratoire des fumées de soudage sont encore méconnus, mais le rôle des particules métalliques émises est fortement suspecté dans la survenue de certaines pathologies, en particulier celui des nano-

particules représentant environ 5 à 10 % de la masse totale et 80 % du nombre de particules émises, expliquant en partie la survenue de fibroses pulmonaires chez les soudeurs.

### **Exposition aux fumées de soudage et stratégies de surveillance biologique de l'exposition pour le médecin du travail**

L'évaluation des risques liés aux fumées de soudage est complexe du fait de la multiexposition qui rend nécessaire la priorisation des polluants à mesurer. La nature à la fois locale (irritative, inflammatoire) et systémique (cancérogénicité, syndromes pseudoparkinsoniens) de la toxicité des fumées doit orienter les préventeurs conjointement vers la métrologie atmosphérique et la surveillance biologique. Le choix des biomarqueurs est guidé par la composition des métaux d'apport (chrome et nickel pour les aciers inox, manganèse...), de la nature des métaux de base (aluminium) ou de leurs revêtements (cadmium), des alliages spéciaux (cobalt, béryllium). Des travaux de recherche montrent qu'il est possible d'aller plus loin dans la surveillance biologique, par l'analyse des polluants dans d'autres matrices telles que le condensat d'air exhalé, le liquide de lavage nasal ou les cheveux. Le développement de la métabolomique offre également de nouvelles perspectives, par l'identification de molécules traceurs reflétant les conséquences biologiques de cette exposition au niveau métabolique, inflammatoire, protéique...

### **Fumées de soudage : dispositions réglementaires et mesures de prévention**

Dans les ambiances de travail, les concentrations de fumées de soudage peuvent être très élevées et atteindre plusieurs dizaines de mg/m<sup>3</sup>. En France, la VLEP pour la totalité des particules composant les fumées de soudage est de 5 mg/m<sup>3</sup> (fraction alvéolaire). Il existe également des VLEP pour de nombreux constituants des fumées tels que le chrome VI, l'ozone ou le nickel. Afin de limiter les expositions aux fumées de soudage, il convient de sélectionner les procédés les moins émissifs et les moins polluants ainsi que les matériaux de base et d'apport les moins toxiques. Il peut être nécessaire de mettre en place des dispositifs de captage à la source des fumées, de disposer en complément d'une ventilation générale de l'air des lieux de travail ou, à défaut, de porter des équipements de protection individuelle. Ces mesures de prévention doivent être adaptées au procédé et aux matériaux utilisés mais également au lieu de travail.

### **Surveillance biologique de l'exposition aux fumées de diesel et aux fumées de bitumes**

Les fumées de diesel générées par les engins de chantier renferment en proportions variables de nombreux gaz

(monoxyde de carbone, oxydes d'azote, benzène, formaldéhyde, hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP - légers) ainsi que des polluants adsorbés sur les particules fines (carbone organique et élémentaire, nitroarènes, HAP lourds). Certains chantiers incluent l'application d'enrobés bitumineux. Du fait de la toxicité des gaz d'échappement des moteurs diesel (CIRC 1) et des fumées de bitumes (CIRC 2B), classés peut-être cancérogènes pour l'homme, l'évaluation des expositions professionnelles est indispensable. Face à une exposition aux fumées de diesel et/ou bitumes, une première caractérisation des polluants atmosphériques principaux (particules fines, CO, oxydes d'azote, HAP, indice global fumées de bitumes) permet d'évaluer le cocktail de polluants et les expositions respiratoires. La surveillance biologique des expositions professionnelles est utile en complément pour mesurer l'imprégnation réelle des travailleurs. La stratégie recommandée consiste à mesurer les métabolites urinaires des HAP majoritaires dans ces fumées. Le 1-hydroxypyrrène, les 2- et 3-fluorénols ainsi que les 2- et 3-phénanthrols sont à privilégier du fait d'une meilleure corrélation avec l'exposition et d'une moindre interférence du tabagisme.

### **Contrôle sur site du bon fonctionnement des filtres à particules pour engins non-routiers**

Les émissions diesel sont à l'origine d'altération de la fonction pulmonaire, d'induction et d'aggravation de l'asthme, d'augmentation de la mortalité par maladies cardiovasculaires et respiratoires. La nouvelle réglementation européenne relative à l'émission en polluants par les engins non-routiers, applicable depuis 2017, se traduit par une exigence de diminution drastique de l'émission en particules d'un facteur environ 100 par rapport aux limites antérieures. Seuls les systèmes de filtres à particules (FAP) sont en mesure d'éliminer efficacement les particules ultra-fines hautement toxiques de suie et d'oxydes métalliques émises par les moteurs à combustion. Mais les FAP montés sur les engins non routiers subissent des contraintes mécaniques et thermiques importantes pouvant conduire à leur dégradation, ce qui se traduit par une augmentation de la concentration en particules à l'émission du moteur qui nécessite d'être contrôlée. Différents moyens de mesure simplifiés de la concentration en particules à l'émission des engins sont étudiés et testés dans différentes configurations de fonctionnement en laboratoire et sur le terrain.

*L'ensemble des interventions est disponible sur le site : [www.sistbtp-lorraine.fr](http://www.sistbtp-lorraine.fr).*

# Exposition professionnelle aux diisocyanates : étude de biosurveillance dans le cadre du projet européen HBM4EU

PARTICIPEZ à la RECHERCHE

**L**e projet HBM4EU a pour objectifs d'utiliser et d'harmoniser au niveau européen la biosurveillance pour évaluer les expositions humaines, environnementales et professionnelles aux substances chimiques. Ce projet devra contribuer à l'établissement d'une base de données sur les niveaux d'exposition aux substances chimiques d'intérêt rencontrées en Europe, pour permettre à l'Union européenne (UE) d'établir des valeurs de référence pour les populations générales (VBR), ainsi que des valeurs limites biologiques (VLB) en milieu professionnel. D'avantage de détails sont disponibles sur le site web : <https://www.hbm4eu.eu/about-hbm4eu/>. Les diisocyanates 4,4'-méthylènediphényl diisocyanate (MDI), toluène diisocyanate (TDI) et diisocyanate d'hexaméthylène (HDI) sont utilisés dans différentes applications, incluant la fabrication de mousses de polyuréthane (PU), de peintures industrielles, de colles ou de vernis. Ils sont responsables de sensibilisations cutanée et respiratoire, pouvant conduire à une dermatite allergique ou à de l'asthme. Par ailleurs, les produits de dégradation et métabolites du MDI et TDI sont classés mutagènes cat. 2 et cancérogènes cat. 1B. Des mesures de restriction de l'utilisation du MDI, du TDI et du HDI sont actuellement en discussion au niveau de la Commission européenne. En outre, il est prévu de fixer une valeur limite d'exposition professionnelle aux diisocyanates dans le cadre de la directive sur les agents chimiques.

Cependant, les données d'exposition professionnelle aux diisocyanates disponibles proviennent majoritairement d'études antérieures à 2010 et pourraient ne pas refléter l'exposition actuelle sur le lieu de travail. Par ailleurs, il existe peu de données dans des secteurs comme la fabrication d'avions, de bateaux, d'adhésifs ou le secteur de la construction.

## Objectif de l'étude

- Fournir de nouvelles données sur l'exposition aux diisocyanates, sur la base d'un protocole d'étude harmonisé au niveau européen, pour alimenter les discussions en cours et soutenir les mesures réglementaires récentes.

## Méthodologie

La campagne d'évaluation des expositions en entreprise repose sur des prélèvements biologiques (urines

et sang). Les biomarqueurs d'exposition étudiés seront :

- les diamines urinaires,
- les adduits à l'ADN dans l'urine,
- les adduits à l'hémoglobine,
- les immunoglobulines spécifiques aux diisocyanates.

En option, des biomarqueurs de l'inflammation pourront être étudiés.

Des prélèvements dermiques seront aussi réalisés pour des activités fortement contaminantes. Des prélèvements atmosphériques pourront également être effectués pour les procédés les plus émissifs (pulvérisation, procédés à chaud).

Une équipe de l'INRS interviendra durant une semaine de travail pour le recueil des différents échantillons suivant le protocole établi. Afin de mieux interpréter les résultats, un questionnaire sur les activités professionnelles et l'hygiène de vie sera proposé à chaque participant volontaire.

Les résultats seront restitués anonymement à chaque entreprise participante qui pourra ainsi bénéficier d'un diagnostic personnalisé et de conseils de mesures de prévention.

## Entreprises recherchées

- utilisant des mousses PU flexibles (litterie...) ou rigides (isolation, pièces automobiles, produits d'étanchéité...);
- utilisant des produits de revêtement (peinture/vernis PU) pour la fabrication et la réparation de bateaux, avions, camions, automobiles ; pour le finissage des sols et chapes...;
- utilisant des colles à base de diisocyanates dans différents secteurs (ameublement...) et d'élastomères (enduction de tissus, joints...).

## Responsables d'étude à contacter :

*Sophie Ndaw (03 83 50 85 13) - [sophie.ndaw@inrs.fr](mailto:sophie.ndaw@inrs.fr)*

*Radia Bousoumah (03 83 50 20 00) - [radia.bousoumah@inrs.fr](mailto:radia.bousoumah@inrs.fr)*

*Laboratoire de biométrie, département Toxicologie et biométrie, INRS*

*1, rue du Morvan*

*CS 60027*

*54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex*

# Affiches, brochures, dépliants, documents en ligne...



## Moins fort le bruit

Sensibiliser sur les risques professionnels liés aux nuisances sonores en entreprise

Le bruit constitue une nuisance majeure en milieu professionnel. Il peut provoquer des surdités mais aussi du stress et de la fatigue qui, à la longue, ont des conséquences sur la santé des salariés et la qualité de leur travail. Pour sensibiliser sur ce risque, l'INRS propose aux entreprises une série de six nouvelles affiches et trois nouveaux autocollants.

cf. p. 82



## Électricité : 10 règles élémentaires de sécurité

L'électricité ne se voit pas, ne se sent pas, ne s'entend pas. Présente en permanence dans notre vie professionnelle et privée, l'énergie électrique nous est familière au point d'en oublier presque ses dangers. Aussi, il semble essentiel de présenter quelques règles élémentaires de prévention.

Réf. ED 6344, 16 p.

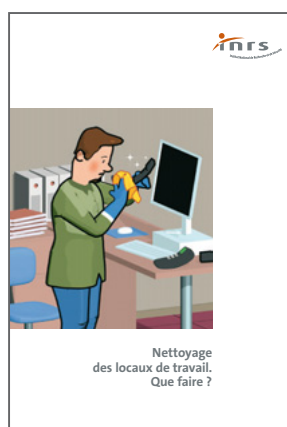


## Meopa

Soulager les patients sans exposer les soignants

Le Meopa est un gaz utilisé dans de nombreux services hospitaliers pour permettre la réalisation d'actes douloureux de courte durée. Il peut avoir des effets dangereux pour les soignants. Ce dépliant présente les modes de contamination, les effets sur le personnel exposé régulièrement et propose des mesures de prévention à mettre en œuvre pour préserver la santé des soignants

Réf. ED 6365, 8 p.



## Nettoyage des locaux de travail. Que faire ?

Les surfaces mal entretenues, comme les plans de travail, les sols et les murs peuvent favoriser le développement de micro-organismes. Ce document explique la stratégie à suivre pour entretenir correctement ces surfaces, en respectant les mesures de prévention des risques professionnels.

Réf. ED 6347, 24 p.



## L'électricité

Cette brochure a pour but de répondre aux questions que toute personne non spécialisée en électricité est susceptible de se poser sur les risques professionnels d'origine électrique. Elle explique ce qu'est l'électricité et présente les dommages corporels causés par le courant électrique, leurs origines, ainsi que les principales règles de prévention.

Réf. ED 6345, 44 p.



## Exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels

### Guide d'évaluation des risques sans mesure

La réglementation impose d'évaluer l'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques artificiels. Les textes n'imposent pas le mesurage, cependant il n'est pas toujours simple d'évaluer les risques sans mesure : où trouver l'information nécessaire, comment exploiter les documents ou quels sont les moyens de calcul disponibles ? Ce guide propose de répondre à ces interrogations. Il s'adresse plus particulièrement aux personnes ayant des compétences techniques en prévention des risques professionnels. Il rappelle les valeurs limites d'exposition associées à chacun des risques, dresse un état des principaux documents disponibles pour réaliser la première étape d'évaluation des risques et décrit les moyens de calculs existants pour quantifier les niveaux d'exposition, et notamment le logiciel CatRayon.

Réf. ED 6343, 36 p.



## Sensibilisation à l'exposition aux rayonnements optiques artificiels (ROA) sur les lieux de travail (hormis les lasers et appareils à laser)

Ce document est destiné aux responsables des TPE, PME et PMI, aux responsables sécurité et aux acteurs de la santé au travail. Son objectif est de donner les informations utiles pour identifier les situations de travail qui comportent des sources de rayonnements optiques artificiels et décider s'il est nécessaire ou non de mettre en œuvre les nouvelles dispositions réglementaires. Il présente les effets nocifs produits par les ROA sur la santé, les nouvelles dispositions réglementaires ainsi que des listes :

- de sources de ROA non dangereuses pour des conditions d'usage normal ;
- de sources de ROA dont les expositions répétées et mal maîtrisées pourraient induire des effets délétères pour la santé des salariés, ainsi que les secteurs d'activité où elles sont utilisées.

Réf. ED 6113, 12 p. (mise à jour).



## Silice, la fiche toxicologique n° 232, entièrement revue

[www.inrs.fr/publications/bdd/fiche-tox.html](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fiche-tox.html)

La fiche toxicologique (FT n° 232) *Silice* a été entièrement revue par les experts de l'INRS et vient d'être publiée. Un travail conséquent de synthèse du rapport d'expertise collective de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) sur la silice cristalline \*, complété par une analyse d'articles scientifiques sur des données en toxicologie expérimentale mais surtout en toxicologie humaine a été réalisé. La réglementation spécifique à la silice, les expositions professionnelles, les recommandations du point de vue technique et médical sont aussi particulièrement détaillées. L'essentiel des informations récentes liées à la silice sont disponibles dans cette fiche toxicologique.

\* Dangers, expositions et risques relatifs à la silice cristalline. *Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, avril 2019.*



## Milieus de soins. Catalogue des productions

### S'informer pour agir

Ce catalogue propose l'essentiel des productions de l'INRS (brochures, dépliants, affiches, vidéos...) sur la prévention dans les milieux de soins.

Réf. ED 4703, 15 p.



## Napo dans... Le travail en hauteur

Travailler sur une charpente, un toit, un pylône, une plateforme, un échafaudage... peut être une activité à risque. Les chutes liées au travail en hauteur constituent en effet la seconde cause d'accidents du travail mortels. Ce nouveau film d'animation *Napo dans... Le travail en hauteur* aborde la question des risques liés au travail en hauteur. Avec légèreté et humour, le nouvel épisode des aventures de Napo dresse un rapide inventaire des principales situations à risques. Le film comprend dix histoires courtes.

Réf. DVo411, 10 min





### Dossier web : Radon en milieu de travail

[www.inrs.fr/risques/radon/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/risques/radon/ce-qu-il-faut-retenir.html)

Le radon est un gaz radioactif naturel émis par les sols, en concentration plus ou moins importante en fonction de leur nature (surtout émis par les roches granitiques, volcaniques, certains schistes). Il est à l'origine de cancers broncho-pulmonaires et on lui attribue environ 3 000 décès annuels en France. Des mesures de prévention simples à mettre en œuvre permettent de réduire le risque engendré par la présence de radon dans les lieux de travail.

### Focus juridique

#### Conduite d'un véhicule pour le travail : quelles obligations pour le salarié et l'employeur ?

[www.inrs.fr/publications/juridique/focus-juridiques/focus-conduite-vehicule-pour-le-travail.html](http://www.inrs.fr/publications/juridique/focus-juridiques/focus-conduite-vehicule-pour-le-travail.html)

De nombreux salariés conduisent un véhicule dans le cadre de leur travail, que cela soit de façon occasionnelle ou régulière (commerciaux, artisans, conducteurs routiers...). L'employeur peut-il avoir connaissance du relevé de points ? Le salarié doit-il informer son employeur d'une éventuelle suspension ou annulation de son permis ? Ce focus fait le point sur les obligations pour le salarié et l'employeur.

#### Droit à la déconnexion : comment le mettre en œuvre dans l'entreprise ?

[www.inrs.fr/publications/juridique/focus-juridiques/focus-droit-deconnexion.html](http://www.inrs.fr/publications/juridique/focus-juridiques/focus-droit-deconnexion.html)

Le droit à la déconnexion peut être mis en œuvre dans l'entreprise par accord collectif ou par la voie d'une charte élaborée par l'employeur. Il a pour objectif de respecter les temps de repos et de congé, de préserver la vie personnelle et familiale du salarié. Ce focus présente les modalités de sa mise en place.



#### Nanoparticules au travail : les appareils de protection respiratoire sont-ils efficaces ?

Sandrine Chazelet et son équipe reviennent sur les résultats de l'étude menée à l'INRS sur les « Performances des appareils de protection respiratoire filtrant vis-à-vis des nanoparticules ». Un banc d'essai a permis d'étudier l'efficacité de différents types d'appareils de protection respiratoire.

Réf. Anim-231, 2 min 51



#### Exosquelettes au travail : étudier leur impact sur la santé des salariés

L'INRS étudie l'impact en santé et sécurité des exosquelettes sur les salariés et accompagne les entreprises dans leur réflexion quant à l'intégration de ces équipements. Jean Theurel, physiologiste du mouvement à l'INRS, présente des études en laboratoire et en milieu professionnel réalisées pour mieux comprendre l'intérêt et les limites de ces exosquelettes.

Réf. Anim-198, 2 min 47

# Vous agissez pour la prévention des risques professionnels en entreprise ?

## Abonnez-vous à



### Formule magazine:

- Des informations opérationnelles et diversifiées
- Des articles d'analyse
- Des outils et des méthodes

#### Au sommaire du n° 258 (mars 2020):

**Décryptage** / La prévention des TMS centrée sur le soin

**Dossier** / « Prévention assistée par ordinateur » : Maîtriser les risques à l'aide d'outils numériques

**Notes techniques** / Risques chimiques et biologiques en thanatopraxie: cadre réglementaire et mesures de prévention

**Congrès** / Les risques biologiques professionnels, état des lieux des connaissances

**Plus d'autres articles ou infos** dans les rubriques: Actualité juridique, Normalisation, Notes techniques, Bases de données, Formation...

Et sur: [www.hst.fr](http://www.hst.fr)

- OUI, je m'abonne à Hygiène et sécurité du travail (HST)** pour une durée d'un an, soit 4 numéros. Un bulletin de réabonnement me sera adressé à échéance.

#### À remplir en lettres capitales:

- M<sup>ME</sup>  M.

NOM: .....

SOCIÉTÉ: .....

ADRESSE: .....

VILLE: .....

CODE POSTAL: .....

PAYS: .....

TÉL.: .....

E-MAIL: .....

#### Profession (cochez la case):

- Chargé de prévention en entreprise  
 Intervenant en prévention des risques professionnels (IPRP)  
 Médecin du travail  
 Formateur  
 Ressources humaines  
 Chef d'entreprise  
 Chercheur  
 Autre

#### Tarifs annuels 2020\* (1 an/4 n°s)

- France: 72€  
 DOM: 78€  
 TOM et Europe: 84€  
 Reste du monde: 90€

\* exonération TVA

#### Je règle comptant:

- Par chèque à l'ordre de l'INRS  
 Par virement bancaire sur le compte de l'INRS (IBAN: FR44 3000 2005 7200 0000 0309 D24 - BIC: CRLYFRPP) et recevrai une facture acquittée.

INRS service abonnements - Com & Com  
Bâtiment Copernic - 20, avenue Édouard-Herriot  
92 350 Le Plessis-Robinson  
Tél. : 01 40 94 22 22  
E-mail : [inrs@cometcom.fr](mailto:inrs@cometcom.fr)

RST 161

# 2

# CONNAISSANCES ET RÉFÉRENCES

P. 19 GRAND ANGLE

P. 49 VU DU TERRAIN

P. 75 SUIVI POUR VOUS

P. 89 MISE AU POINT

# Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

## AUTEURS :

S. Binet<sup>1</sup>, E. Belut<sup>2</sup>, S. Chazelet<sup>3</sup>, L. Gaté<sup>3</sup>, R. Guichard<sup>2</sup>, G. Hedelin<sup>4</sup>, S. Malard<sup>5</sup>, B. Oury<sup>6</sup>, M. Ricaud<sup>7</sup> et D. Rousset<sup>6</sup>

## EN RÉSUMÉ

Cet article a pour objectif d'engager des réflexions sur la possibilité de définir une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) pour le noir de carbone nanométriques en proposant une démarche pour l'évaluation de l'exposition à ces aérosols ainsi que les principales mesures de prévention à recommander.

## MOTS CLÉS

Valeur limite /  
Risque chimique /  
Évaluation  
des risques /  
Nanoparticule /  
Particule

<sup>1</sup>Direction Études et recherches, <sup>2</sup>Département Ingénierie des procédés, <sup>3</sup>Département Toxicologie et biométrie, <sup>4</sup>Département Épidémiologie en entreprise, <sup>5</sup>Département Études et assistance médicales, <sup>6</sup>Département Métrologie des polluants, <sup>7</sup>Département Expertise et conseil technique, INRS



© Gaël Kerbaol / INRS

## GÉNÉRALITÉS

**Le noir de carbone (NC), nommé également noir d'acétylène, noir de fumée, noir de fourneau, noir au tunnel ou noir thermique, est composé de carbone élémentaire pratiquement pur (98 à 99,7 %) et se présente sous la forme de particules primaires quasi sphériques de diamètres moyens compris entre 10 et 500 nanomètres (nm).** Les particules primaires forment des agrégats (de 50 à 600 nm) de morphologie acineuse (grappe) qui se regroupent en agglomérats (de 1 à plus de 100 µm).

Les NC sont produits par combustion partielle ou par décomposition thermique d'hydrocarbures liquides ou gazeux dans des conditions contrôlées. Ils présentent une large répartition granulométrique, une surface spécifique élevée et un état d'agrégation variable. Les NC diffèrent de la suie, sous-produit incontrôlé de la combustion incomplète de toutes sortes de matières carbonées, qui présente une composition imprécise et variable (elle peut notamment contenir plus de 50 % de cendres). Les NC diffèrent en fonction des matières premières utilisées, des conditions de combustion et de

**Noir de carbone nanostructuré :**  
vers une valeur limite d'exposition professionnelle

décomposition thermique [1, 2] :

- le noir de fourneau (diamètre moyen des particules primaires de 10 à 400 nm), produit principalement par combustion incomplète de résidus pétroliers lourds ou de gaz naturels. Il est le plus commercialisé (95 % de la production mondiale) ;
- le noir thermique (diamètre moyen des particules primaires de 120 à 500 nm), obtenu par décomposition thermique de gaz naturels. Il est composé des particules les moins fines. Il représente 2 % de la production aux États-Unis, en Europe de l'Ouest et au Japon ;
- le noir d'acétylène (diamètre moyen des particules primaires de 30 à 50 nm), produit par craquage de l'acétylène à des températures très élevées. Il est l'un des NC le plus pur ;
- le noir de fumée (diamètre moyen des particules primaires de 60 à 200 nm), obtenu par combustion incomplète d'hydrocarbures de goudron. Initialement destiné à fournir le pigment de l'encre de Chine (noir de lampe), il montra fortuitement en 1912 ses qualités exceptionnelles de renforcement des pneumatiques en caoutchouc ;
- le noir au tunnel (diamètre moyen des particules primaires de 10 à 30 nm), produit par combustion incomplète de gaz naturels. Il représentait la forme la plus commercialisée au début du XX<sup>e</sup> siècle, il n'est actuellement plus fabriqué, sauf en Allemagne. Il est composé de très fines particules peu agrégées.

Les particules primaires (nommées parfois nodules) de NC se lient entre elles par des liaisons covalentes et s'organisent pour former des entités tridimensionnelles complexes denses appelées agrégats. Ces structures en branches, ouvertes et ramifiées, peuvent inclure jusqu'à une centaine de particules primaires

chacune, leur diamètre varie en fonction du type de NC (tableau I). Les agrégats peuvent s'assembler à leur tour en amas peu compacts sous l'action des forces attractives du type Van der Waals pour former des agglomérats de taille inférieure à 2 mm (figure 1). Ils peuvent également être comprimés pour former des billes pouvant atteindre 0,5 cm de diamètre, dont la cohésion peut être renforcée par des liants de type mélasses. Un NC présentant un fort état d'agrégation est dit de structure élevée, la structure étant déterminée par le diamètre et la morphologie des agrégats, le nombre de particules primaires par agrégat et leur masse moyenne. L'état d'agrégation (le diamètre et la répartition des agrégats) est un critère important d'applicabilité, notamment en ce qui concerne l'adsorption d'huile (capacité du NC à absorber des liquides du fait d'une porosité ouverte).

La surface spécifique des NC s'étend de 6 m<sup>2</sup>/g pour le noir thermique à 240 m<sup>2</sup>/g pour le noir de fourneau. En raison des matières premières utilisées, de leur mode de production et de leur surface spécifique, les NC présentent généralement des substances adsorbées à leur surface (hydrocarbures aromatiques polycycliques et leurs dérivés nitrés et soufrés), toutefois dans de faibles quantités. **Des traces de composés inorganiques peuvent également être présentes :** calcium, fer, potassium, plomb, arsenic, chrome, sélénium.

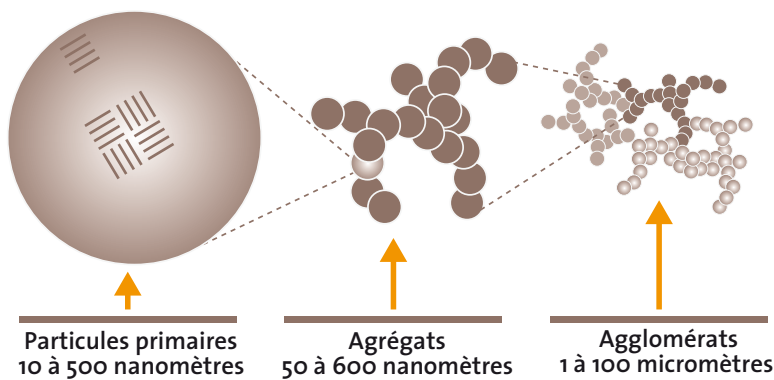
Le noir de carbone est insoluble dans l'eau et les solvants organiques. La fabrication du NC remonte à des temps très anciens : en 1500 avant notre ère, les Chinois produisaient déjà du NC à partir d'huiles végétales. La production mondiale est actuellement d'environ 11 millions de tonnes par an. Près de 60 % proviennent d'Asie-Pacifique, 15 %

↓ **Tableau I**

> **PROPRIÉTÉS DIMENSIONNELLES DU NOIR DE CARBONE [1]**

Noir de carbone	Diamètre des particules primaires (nm)	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Diamètre des agrégats (nm)
Noir de fourneau	10 à 400	12 à 240	50 à 400
Noir thermique	120 à 500	6 à 15	400 à 600
Noir d'acétylène	30 à 50	15 à 70	350 à 400
Noir de fumée	60 à 200	15 à 25	300 à 600
Noir au tunnel	10 à 30	90 à 500	50 à 200

Figure 1 : Des particules primaires aux agglomérats (d'après [1, 2])



d'Amérique du Nord, 12 % d'Europe et 16 % du reste du monde. La plupart des nombreux acteurs sont réunis dans l'Association internationale du noir de carbone. Les NC commerciaux sont vendus sous forme de poudres (agrégats liés entre eux pour former des agglomérats) ou de billes (agrégats comprimés).

Environ 90 % des NC produits sont utilisés dans l'industrie du caoutchouc pour le renfort, notamment des pneumatiques et des chambres à air (pour 65 %) ainsi que dans d'autres pièces mécaniques comme les bandes transporteuses, les câbles et les courroies. Une proportion additionnelle de 9 % sert de pigment noir dans les encres (d'imprimerie, de lithographie, de typographie et de photographie), les peintures, les laques, les vernis, les enduits, les plastiques, les fibres, les émaux et les céramiques. Le 1 % restant est utilisé dans la fabrication de centaines de produits divers et variés, notamment de batteries, d'électrodes, de balais de carbone, de conducteurs électriques, de blindage contre l'interférence électromagnétique, de produits en caoutchouc et en plastique conducteurs et antistatiques, de vidéodisques et bandes vidéo [1, 2]...

Les plus fortes expositions aux NC sont observées dans les secteurs

professionnels interagissant avec la production (emballeurs, agents de nettoyage...). En effet, les expositions sont très variables dans les chaînes de production et d'un site géographique à l'autre ; les améliorations techniques ont conduit à leur diminution progressive. Les concentrations atmosphériques sont ainsi passées de 1000 mg/m<sup>3</sup> dans les années 1960 à moins de 1 mg/m<sup>3</sup> au début des années 1990. Vers la fin des années 1990, les concentrations en fraction alvéolaire étaient inférieures à 0,5 mg/m<sup>3</sup>. Des niveaux d'exposition moindres ont été observés chez les travailleurs utilisant des NC dans la fabrication de matériaux en caoutchouc, d'encres et de peintures (à l'exception de ceux qui manipulent de grandes quantités). Il est admis que l'utilisation de matériaux dans lesquels les NC sont inclus dans une matrice, comme les caoutchoucs ou les encres, n'entraîne vraisemblablement pas d'exposition significative [3, 4].

En France, il n'existe pas de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) réglementaire pour les NC ; il existe néanmoins, depuis 1993, une VLEP à caractère indicatif mesurée sur une durée de travail de 8 heures de 3,5 mg/m<sup>3</sup> équivalente à celle de l'ACGIH<sup>1</sup>. Il n'existe pas de valeur correspondante en Allemagne.

## LES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES

L'extraction des données de concentrations atmosphériques en NC contenues dans la base de données COLCHIC a été réalisée sur l'ensemble de la période 1985 - mai 2018. Néanmoins, les premières données en NC enregistrées dans la base datent de 1994, ce qui n'exclut pas l'existence d'expositions professionnelles au NC avant cette date. Au total, 326 données sont disponibles pour les NC. Les prélèvements atmosphériques représentent 278 résultats, dont 2 par analyse directe (compteur) et 276 par gravimétrie. Sur ces 276, 2 résultats renvoient « non déterminé » ou « analyse impossible ». Les prélèvements en fraction alvéolaire représentant 8 mesures : ces données ont également été exclues du fait du nombre trop restreint de résultats. **Ainsi, au total, 266 résultats d'analyse de la concentration atmosphérique de NC ont été pris en compte sur la période 1994-2018.**

Les valeurs sont comprises entre 0,005 et 33,73 mg/m<sup>3</sup> avec une médiane à 0,6 mg/m<sup>3</sup> (tableau II). Le secteur « Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base n.c.a » (code NAF 2013B)

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists

\* **2013B** Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base n.c.a  
**2211Z** Fabrication et rechapage de pneumatiques  
**2219Z** Fabrication d'autres articles en caoutchouc  
**2720Z** Fabrication de piles et d'accumulateurs électriques  
**2790Z** Fabrication d'autres matériels électriques  
**2829B** Fabrication d'autres machines d'usage général  
**2932Z** Fabrication d'autres équipements automobiles  
**3109B** Fabrication d'autres meubles et industries connexes de l'ameublement  
**4669A** Commerce de gros (commerce interentreprises) de matériel électrique  
**5819Z** Autres activités d'édition

↓ **Tableau II**

> **STATISTIQUES RÉSUMÉES DES DONNÉES DE CONCENTRATIONS ATMOSPHÉRIQUES EN NOIR DE CARBONE (NC) CONTENUES DANS LA BASE DE DONNÉES COLCHIC (1994-2018) EN FONCTION DU SECTEUR D'ACTIVITÉ (lorsque le nombre de mesures est inférieur à 10, seuls le minimum et le maximum sont renseignés).**

[NC] (mg/m <sup>3</sup> )	Total (n=266)	Secteur d'activité (code NAF ci-contre*)									
		2013B (n=217)	2211Z (n=6)	2219Z (n=13)	2720Z (n=4)	2790Z (n=4)	2829B (n=5)	2932Z (n=4)	3109B (n=2)	4669A (n=3)	5819Z (n=8)
Moyenne	1,56	1,61		2,13							
Médiane	0,6	0,64		0,83							
Écart-type	3,37	3,47		2,27							
Minimum	0,005	0,005	0,2	0,1	0,11	0,02	0,145	0,25	0,52	0,04	0,01
Maximum	33,73	33,73	18,08	7,1	0,17	0,1	2,07	1,01	2,17	0,04	3,2
1 <sup>er</sup> quartile	0,15	0,20		0,3							
3 <sup>e</sup> quartile	1,56	1,60		3,4							

## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

représente à lui seul 82 % des données (tableau II). Les tâches liées à ce secteur d'activités sont essentiellement des tâches d'ensachage ou de chargement de trémies ou de silos (tableau III).

### DEVENIR DANS L'ORGANISME ET MÉCANISME DE TOXICITÉ

Le tableau IV présente les principales caractéristiques des noirs de carbone commercialisés et ayant fait l'objet d'études toxicologiques mentionnées dans l'article.

### TOXICOCINÉTIQUE

Les particules sont inhalées soit sous forme unitaire, soit nanostructurées, en agrégats et/ou agglomérats, ce qui affecte leur comportement dans l'air et les probabilités de dépôt dans les différents compartiments de l'appareil respiratoire ainsi que leur cinétique d'élimination. Ainsi, et selon la Commission internationale de protection radiologique (ICRP) [5], le dépôt de ces particules dans l'ensemble du tractus respiratoire concerne environ 20-30 % des particules de 100 nm, 40-50 % des particules de 50 nm et près de 90 % des particules de 10 nm. Les particules entre 10 et 100 nm se répartissent majoritairement au niveau alvéolaire, avec un pic de dépôt entre 50 et 60 % pour les particules de 10-20 nm. Les études de toxicocinétique chez l'animal exposé par inhalation ne sont pas exactement transposables à l'homme du fait de différences de géométrie de l'arbre trachéo-bronchique et de localisation d'impaction des particules [6] mais aussi leur devenir au niveau alvéolaire [7].

### CLAIRANCE ALVÉOLAIRE (DEMI-VIE)

La rétention des particules insolubles ou très peu solubles dans le système respiratoire résulte de la balance entre les vitesses de dépôt et d'élimination (clairance). Les particules se déposant dans l'arbre trachéo-bronchique sont éliminées par la clairance mucociliaire qui est relativement rapide. Celles qui se déposent dans le compartiment alvéolaire subissent une phagocytose par les macrophages puis, après migration vers les bronches, sont éliminées par la clairance mucociliaire puis expectorées ou dégluties. La surcharge pulmonaire, un concept qui a été défini par Morrow [8] pour les particules dites sans effet spécifique, apparaît lorsque les mécanismes de clairance médiés par les macrophages sont dépassés.

Chez le rongeur [1], les particules ultrafines de NC ont provoqué une diminution dose-dépendante de la clairance par les macrophages alvéolaires, se produisant à des doses plus faibles par rapport aux particules plus grosses (micrométriques).

Dans l'étude de Elder et al. [9], un des objectifs était de déterminer les demi-vies de rétention ( $T_{1/2}$ ) chez le rats F344, selon un protocole d'exposition subchronique par inhalation (6 h/j, 5 j/sem, 13 sem) au NC Printex® 90 (P90, noir de fourneau) à 0, 1, 7 ou 50 mg/m<sup>3</sup> (14 nm ; Dae<sup>1</sup> agrégats 1,2-2,4 µm ; 300 m<sup>2</sup>/g). Les demi-vies de rétention des particules indiquées pour le rat, recalculées à partir des données de Elder et al. [9], ont été publiées par Pauluhn et al. [10, 11] : 107 j (1 mg/m<sup>3</sup>), 329 j (7 mg/m<sup>3</sup>) et 667 j (50 mg/m<sup>3</sup>) respectivement. La demi-vie normalement admise pour les particules faiblement toxiques, faiblement

solubles étant d'environ 60 j, la surcharge pulmonaire a été observée dès 7 mg/m<sup>3</sup>.

### TRANSLOCATION

Les études expérimentales ont montré que la taille des particules influence leur probabilité de translocation vers des compartiments extra-pulmonaires tels que les ganglions lymphatiques associés aux poumons, le sang, le foie, la rate, l'encéphale ou les reins [12]. Ainsi, chez le rat, la translocation des alvéoles vers la circulation sanguine, le foie, la rate, les reins, le cœur et le cerveau serait comprise entre 0,1-1 %, 24 h après l'inhalation (1 h) par voie endotrachéale de nano-agrégats de carbone radio-marqués à l'iridium 192 (<sup>192</sup>Ir) (20-80 nm) [13]. Ce pourcentage pourrait être considéré comme un maximum car ces particules, produites en laboratoire, étaient massivement nanométriques. La translocation des nanomatériaux (NM) après instillation intratrachéale, intranasale et aspiration pharyngée est plus élevée que par inhalation et pourrait être la conséquence du débit de dose, la même quantité étant déposée en quelques secondes par instillation et plusieurs jours par inhalation. Selon la revue générale de Kermanzadeh et al. [14], les données actuelles indiquent que l'exposition par inhalation est associée à une translocation faible pour les NM pratiquement insolubles comme l'iridium, le NC, l'or et le polystyrène (0,0001 à 1 % de la dose totale sur 24 h chez la souris).

Chez l'homme, les études d'exposition contrôlées indiquent que la fraction de nanoparticules transloquées serait inférieure à 1 % en masse de la dose délivrée aux poumons [15]. À titre d'exemple, dans l'étude d'exposition contrôlée chez

1. Dae (diamètre aérodynamique équivalent) : diamètre d'une particule sphérique et de densité 1 g/cm<sup>3</sup>, ayant la même vitesse de chute dans l'air que la particule concernée.

↓ Tableau III

➤ STATISTIQUES RÉSUMÉES DES DONNÉES DE CONCENTRATIONS ATMOSPHÉRIQUES EN NOIR DE CARBONE (NC) CONTENUES DANS LA BASE DE DONNÉES COLCHIC (1994-2018) EN FONCTION DE LA TÂCHE (lorsque le nombre de mesures est inférieur à 10, seuls le minimum et le maximum sont renseignés).

Tâche (nom)	Effectif total (2013B)	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Minimum	Maximum	1 <sup>er</sup> quartile	3 <sup>e</sup> quartile
TOTAL	266 (217)	1,56	0,60	3,37	0,01	33,73	0,15	1,56
Conduite et surveillance d'installations d'ensachage	47 (44)	2,93	0,92	6,50	0,01	33,73	0,35	2,35
Ensachage (y compris le conditionnement en caisses, big-bags...)	13 (13)	1,97	1,63	1,30	0,52	4,41	1,19	2,97
Ensachage manuel	4 (4)				0,06	0,22		
Magasinage manuel (chargement, déchargement, empilage...)	20 (20)	1,78	0,73	2,39	0,13	9,09	0,19	2,07
Opérations de chargement/déchargement de silos et trémies	137 (136)	1,11	0,45	1,75	0,09	10,80	0,12	1,30
Chargement, déchargement (silos/trémies, big-bags...)	5 *				0,15	3,40		
Conduite et surveillance de machines d'impression offset et imprimeries autres tâches n.c.a	8				0,01	3,20		
Conduite et surveillance de mélangeurs	9				0,11	3,00		
Dépose de matériaux ou de produits isolants	3				0,04	0,04		
Opérations de dépotage (camions, citernes, wagons, bateaux...)	3				1,42	18,08		
Application par pulvérisation pneumatique	2				0,52	2,17		
Conduite et surveillance d'installations de broyage et de tri	1				0,39	0,39		
Pesage, dosage manuel	1				0,66	0,66		
Autres travaux de préparation mécanique des surfaces	4				0,02	0,10		
Réparation, maintenance, contrôle sur site	1				2,07	2,07		
Travail dans des locaux à pollution non spécifique (bureaux, salles de réunion)	1				0,25	0,25		
Travaux particuliers : autres tâches non codifiées par ailleurs	5				0,10	7,10		
Usinage par déformation de la matière : presses à forger, estampage, roulage, cintrage, étirage, pliage...	2				0,31	1,01		

\* À partir de cet item, les activités n'étant pas dans le code NAF 2013B, il n'y a aucune mesure pour ce dernier.

↓ Tableau IV

➤ PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES NOIRS DE CARBONE COMMERCIALISÉS ET AYANT FAIT L'OBJET D'ÉTUDES CITÉES DANS L'ARTICLE

Nom commercial	Type de noir de carbone	Diamètre moyen des particules primaires (nm)	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)
Printex® 90	Noir de fourneau	12 à 16	254 à 337
Huber® 990	Noir thermique	260	8
Monarch® 880	Noir de fourneau	16	220
Elftex® 12	Noir de fourneau	37	43
Flamruss® 101	Noir de fumée	95	20



## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

l'homme, de Wiebert et al. [16] : la clairance pulmonaire et la translocation vers la circulation sanguine de particules de carbone de 35 nm radiomarquées au technétium 99 métastable ( $^{99m}\text{Tc}$ ) ont été suivies pendant 24h chez 15 sujets (neuf en bonne santé et quatre asthmatiques). Aucune différence significative n'a pu être objectivée entre les sujets sains et asthmatiques. La rétention de particules après 24h était supérieure à 95 % et la translocation inférieure à 1 %.

Les données actuelles précisent donc qu'après inhalation, la translocation de particules virtuellement insolubles telles que le NC est faible mais pourrait s'avérer significative en cas d'exposition chronique (risque d'accumulation dans certains organes) ou d'inflammation. En effet, les preuves expérimentales disponibles indiquent que la translocation systémique ne se produit pas de manière appréciable à des niveaux d'exposition non inflammatoires [17]. La littérature recense différents effets toxicologiques après translocation pulmonaire des nanoparticules : stress oxydatif, inflammation, cytotoxicité et dysfonctionnement des processus cellulaires et physiologiques.

### MÉCANISME DE TOXICITÉ

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) [1] a noté que l'exposition prolongée aux particules inhalées à des concentrations suffisamment élevées chez l'animal pouvait altérer des mécanismes de clairance normale dans la région alvéolaire du poumon, entraînant une accumulation continue de particules, des charges pulmonaires excessives et une inflammation alvéolaire. Cette réponse inflammatoire peut donner lieu à une augmentation de la génération d'espèces réactives d'oxygène, des

lésions cellulaires, une prolifération cellulaire, une fibrose, l'induction de mutations et le cancer. Étant donné que nombre de ces étapes se produisent également chez les travailleurs dans des environnements empoisonnés, les données sur le cancer chez les animaux dont la clairance alvéolaire est altérée ont été considérées comme pertinentes pour les humains. En outre, une diminution de la clairance pulmonaire chez les rongeurs exposés à des particules ultrafines se produit à des concentrations de masse beaucoup plus faibles qu'avec des particules fines, ce qui ajoute à la pertinence humaine.

Gallagher et al. [18] ont exposé des rats Fischer 344 par inhalation sub-chronique (6 h/j, 5 j/sem, 13 sem) à du Printex® 90 (1, 7 ou 50 mg/m<sup>3</sup> ; 16 nm, surface spécifique 300 m<sup>2</sup>/g). Les résultats de cette étude corroborent l'hypothèse de mécanisme concernant les particules ultrafines de faible toxicité selon laquelle les dommages oxydatifs de l'ADN dans les poumons de rat pourraient jouer un rôle dans l'effet tumorigène, en raison notamment de leur importante surface spécifique et non de la masse des particules. La cancérogenèse induite chez le rat par les particules nanostructurées de faible toxicité présenterait ainsi un mécanisme en partie comparable à celui identifié pour les particules fines de faible toxicité mais pour une exposition totale plus faible.

Dans l'étude de Gilmour et al. [19], des rats Wistar mâles ont été exposés pendant 7 h par inhalation au NC fin (1,40 mg/m<sup>3</sup> ; Huber® 990, 260 nm, diamètre médian en nombre (DMN) 268 nm) ou ultrafin (1,66 mg/m<sup>3</sup> ; NC P90, 14 nm, DMN 114 nm). La concentration en nombre des particules du P90 était plus de 10 fois supérieure à celle du Huber®. Les données ont été re-

cueillies immédiatement, 16 et 48h après l'exposition. Le P90 ultrafin a provoqué une augmentation du nombre total de leucocytes dans le liquide de lavage bronchoalvéolaire (LLBA). Ainsi, une exposition unique de 7 heures, qui entraînerait selon les auteurs un dépôt de seulement 3,9 µg dans le poumon profond, était responsable d'une inflammation pulmonaire modeste mais détectable, contrairement à une exposition similaire au NC fin. Une leucocytose sanguine a également été détectée chez les rats exposés au P90, suggérant qu'une inflammation locale stimulait la libération de granulocytes par la moelle osseuse.

Par instillation intratrachéale, Chen et al. [20] ont exposé des souris C57BL/6 à 20 µg de NC ultrafin (7-12 nm, agglomérats moyen 190 nm). La très grande surface spécifique (800 m<sup>2</sup>/g) induisant une forte inflammation confirme l'importance du paramètre surface dans l'évaluation du potentiel inflammatoire des particules nanostructurées. Selon les résultats de cette étude, les macrophages alvéolaires ne seraient pas impliqués dans l'initiation de la réponse inflammatoire alors que les cellules épithéliales alvéolaires de type II (ATII), qui induisaient une forte et précoce expression de cytokines inflammatoires (chimioattractants neutrophiles), pourraient au contraire être le moteur de l'inflammation neutrophile aiguë lors d'une exposition pulmonaire au NC ultrafin.

La charge pulmonaire exprimée en fonction de la surface des particules instillées semble être ainsi un indicateur commun pour le seuil de surcharge susceptible d'être généralisé aux particules de faible toxicité [21].

En résumé, selon Carter et al. [22], le modèle de réponse génotoxique indirecte survient à des niveaux

d'exposition générant une inflammation chronique. L'effet résultant est un environnement favorable aux transformations néoplasiques, à la progression de la fibrose et la formation de tumeurs. Aux niveaux inférieurs à ceux générant l'inflammation, aucun risque ne devrait être anticipé selon ce modèle mécanistique.

## TOXICITÉ

Chez les rongeurs, les réponses pulmonaires indésirables au NC inhalé sont de type effet-dose et comprennent une inflammation, une lésion des cellules épithéliales pulmonaires et des lésions pulmonaires plus sévères et prolongées chez les rats comparativement aux souris et hamsters. La génotoxicité directe du NC a été évaluée et s'est révélée négative dans la plupart des tests de mutagénicité *in vitro* ou *in vivo* [1]. Chez le rat, contrairement aux deux autres espèces de rongeurs, un effet cancérigène est observé, qui serait lié au dépassement du seuil de surcharge pulmonaire [1].

## TOXICITÉ À DOSES RÉPÉTÉES CHEZ L'ANIMAL

Les effets d'une exposition subaiguë par inhalation de NC (50-100 nm, 37 m<sup>2</sup>/g, diamètre médian aérodynamique en masse (DMAM) 0,6-0,9 µm) chez le rat ont été étudiés par Ma-Hock et al. [23]. Onze rats/groupe ont été exposés 6 h/j pendant 5 j (de J<sub>0</sub> à J<sub>4</sub>) à 0,5, 2,5 ou 10 mg/m<sup>3</sup>. Aucun effet n'a été constaté à ces trois concentrations à la fin de l'exposition et jusqu'à 3 semaines de récupération post-exposition.

Lim et al. [24] ont déterminé une concentration maximale sans effet néfaste observable (NOAEL)

subchronique chez le rat sur la base d'une inhalation de P90 sur 4 semaines (6 h/j, 5 j/sem) de 2,87±0,68 mg/m<sup>3</sup> sur la base de l'absence de réaction inflammatoire. Le DMAM était compris entre 0,3 et 0,5 µm, sans indication de la surface spécifique.

Antérieurement, Elder et al. [9] avaient estimé un NOAEL subchronique à 1 mg/m<sup>3</sup> pour les rats, souris et hamsters après une exposition de 13 semaines (6 h/j, 5 j/sem) à du P90 (surface spécifique estimée à 300 m<sup>2</sup>/g) : aucune variation morphologique ou inflammatoire n'était observée. Les concentrations 7 et 50 mg/m<sup>3</sup> induisaient des altérations pathologiques du poumon chez les souris et les rats persistantes au bout de la période de récupération, 11 mois après l'exposition. Ce NOAEL confirmait celui de Driscoll et al. [25] obtenu avec un autre NC de fourneau (Monarch<sup>®</sup> 880 ; 16 nm ; DMAM 0,88 µm, *Geometric Standard Deviation* – GSD – 3,3; 220 m<sup>2</sup>/g) à 0,1, 1,7, 10 ou 52,8 mg/m<sup>3</sup>. Ils ont estimé que l'inhalation subchronique (6 h/j, 5 j/sem, 13 sem) suivie d'une période de récupération de 3 et 8 mois chez le rat à 1,1 mg/m<sup>3</sup> en NC n'avait entraîné aucun effet indésirable (inflammation, histologie, mutation, clairance) détectable sur les poumons, d'où leur proposition de NOAEL pour cette exposition.

En ce qui concerne la toxicité chronique pour les effets non cancérigènes, les travaux de Nikula et al. [26] ont consisté à exposer des rats des deux sexes durant 24 mois, 16 h/jour, 5 j/sem à du NC ultrafin (Elftex<sup>®12</sup> *furnace black*, 37 nm, 43 m<sup>2</sup>/g) à 2,5 ou 6,5 mg/m<sup>3</sup>. Les auteurs ont observé les réponses morphologiques non néoplasiques suivantes : hyperplasie des macrophages alvéolaires, hyperplasie épithéliale alvéolaire, inflammation chronique, fibrose septale,

protéïnose alvéolaire, métaplasie alvéolaire, fibrose focale avec hyperplasie épithéliale alvéolaire, métaplasie squameuse et kystes squameux. Des lésions pulmonaires graves survenaient pour les deux sexes à 2,5 et 6,5 mg/m<sup>3</sup>.

## SENSIBILISATION

Le Comité scientifique européen pour la sécurité du consommateur (CSSC) [27] a estimé qu'il était difficile de conclure à partir des tests de sensibilisation cutanée vu la faible probabilité que les particules de NC aient pénétré la peau pour atteindre les cibles cellulaires du système immunitaire. Le potentiel de sensibilisation du NC ne peut donc pas être exclu, notamment dans les cas de peau endommagée.

Lindner et al. [28], après des études réalisées chez la souris sensibilisée à l'ovalbumine (OVA) montrant que le P90 était susceptible d'aggraver l'inflammation respiratoire allergique et l'hyperréactivité bronchique, ont testé un modèle de provocation par instillation intra-trachéale de NC sur souris sensibilisée aussi à l'OVA. Deux administrations de 70 µg de NC ultrafin (P90) n'ont pas aggravé de manière aiguë l'inflammation allergique établie des voies respiratoires chez la souris (nombre de cellules ou profils de chémokines ou cytokines dans le LLBA).

## GÉNOTOXICITÉ

Selon le CIRC [1], les études de génotoxicité primaire (altération génétique, en l'absence d'inflammation) se sont révélées essentiellement négatives dans nombre de tests et le mécanisme le plus probable relève d'une génotoxicité secondaire résultant de l'attaque oxydative de l'ADN par les espèces réactives de l'oxygène ou de l'azote générées au cours d'une

## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

inflammation provoquée par des particules.

Il est habituellement considéré que la génotoxicité secondaire implique un seuil dont la valeur est estimée par le niveau d'exposition qui déclenche l'inflammation et surcharge les capacités antioxydantes et de réparation de l'ADN dans les poumons.

À titre d'exemple, l'étude sub-chronique par inhalation menée par Carter et al. [22] concluait sur l'absence d'augmentation de la fréquence de mutations (test Hprt des cellules du LLBA de rats, de souris et de hamsters exposés à 1 mg/m<sup>3</sup>, NOAEL basé sur l'absence d'inflammation pulmonaire) contrairement à l'exposition à 7 mg/m<sup>3</sup>. Des études ont aussi été réalisées par instillation intratrachéale démontrant des cassures de l'ADN des cellules du LLBA mais à des doses déclenchant un processus inflammatoire [29]. Par ailleurs, du P90 administré par aspiration pharyngée (162 µg/souris) pouvait induire des dommages à l'ADN au niveau hépatique ; ces effets ont été associés à la capacité du Printex® d'induire des espèces réactives de l'oxygène.

### CANCÉROGÉNÉCITÉ

Le CIRC [1] estime que les études de cancérogénicité *in vivo* chez le rat confirment l'hypothèse selon laquelle la génotoxicité secondaire du NC serait basée sur un mécanisme de surcharge conduisant à la génération d'espèces réactives de l'oxygène à partir de cellules inflammatoires infiltrées, à l'oxydation de bases d'ADN, à des cassures de l'ADN, à une peroxydation lipidique, à la sécrétion de médiateurs inflammatoires (classement en 2B, « *L'agent est peut-être cancérogène pour l'homme* »). Lorsque le seuil de surcharge pulmonaire est dépassé, une inflammation chronique s'ins-

talle et les rats développent des tumeurs pulmonaires.

À titre d'exemple, le NC Elftex®12 (43 m<sup>2</sup>/g) a été administré chez le rat par inhalation chronique à 0, 2,5 ou 6,5 mg/m<sup>3</sup> (16 h/j, 5 j/sem, 24 mois). Des augmentations significatives de l'incidence des adénomes et adénocarcinomes pulmonaires ont été observées à 2,5 et 6,5 mg/m<sup>3</sup> chez les femelles et particulièrement à la plus forte concentration ; aucune augmentation tumorale significative n'a été constatée chez les rats mâles [26]. Les auteurs estimaient une concentration minimale avec effet (LOAEC) chez les rats des deux sexes à 2,5 mg/m<sup>3</sup> basée sur les données d'histopathologie. Il est très vraisemblable qu'à la concentration 6,5 mg/m<sup>3</sup>, les rats aient été en surcharge pulmonaire : le CIRC [1] considérait qu'une exposition à 7,1 mg/m<sup>3</sup> pendant seulement 13 semaines induisait une altération de la clairance pulmonaire.

La cancérogénicité pulmonaire du NC a été testée chez le rat et la souris, par inhalation et par voie intratrachéale. Le CSSC [27] et le CIRC [1] estiment que le NC peut provoquer des tumeurs malignes chez les rats après une exposition par inhalation ou instillations intratrachéales. Le CSSC [27] note que les études par instillation sont souvent positives du fait de forts dosages administrés aux animaux et ne peuvent pas être utilisées pour la caractérisation quantitative des risques liés à l'exposition humaine par inhalation ; cependant, ces études fournissent des informations sur la capacité des nanoparticules de NC à induire des tumeurs. Les données issues des études de cancérogénicité chez l'animal ne permettent pas de préciser une concentration seuil sans effet néfaste observable (NOAEC).

### TOXICITÉ POUR LA REPRODUCTION

D'après les résultats des études expérimentales sur les nanoparticules (NP) insolubles, la translocation des NP déposées dans les poumons vers la circulation systémique est faible (< 1 % pour le NC) et la majorité des NP transférées s'accumulent dans des organes cibles secondaires tels que le foie, la rate et le placenta. Des études montrent que la translocation des NP insolubles à travers le placenta est très faible (0,005 à 0,018 %), d'où un transfert des particules très limitée vers le fœtus [30]. Ainsi, l'exposition maternelle au NC peut potentiellement affecter le développement du fœtus, aussi bien directement qu'indirectement. La fertilité chez les femelles n'a été abordée dans aucune étude [27].

La revue générale d'Ema et al. [31] fait état d'une atteinte de la spermatogénèse chez des souris adultes après instillation intratrachéale de P90 et Flammruss® 101. Cette même publication rapporte, également dans cette espèce, des effets sur le développement de la descendance touchant plusieurs organes ou fonctions dont le système immunitaire, le cerveau, le testicule et le rein. Des effets génotoxiques et sur le comportement sont notamment rapportés. L'exposition maternelle aux particules peut avoir des effets sur les lignées germinales des générations suivantes, avec une sensibilité différente selon qu'il s'agit de mâles ou de femelles. En particulier, dans plusieurs études réalisées par instillation intratrachéale chez des souris gestantes, les petits mâles présentaient une diminution de la production journalière de sperme et des modifications histopathologiques testiculaires (vacuolisation des tubes séminifères et diminu-

tion de l'adhérence cellulaire de l'épithélium séminifère). Pour certains de ces travaux, des informations insuffisantes étaient fournies sur la toxicité maternelle or celle-ci est classiquement susceptible de provoquer des effets sur la descendance.

Ces résultats n'ont cependant pas été confirmés par Skovmand et al. [30, 32]. La publication de 2018 (instillation intratrachéale avec du P90 ou du Flammruss® 101 ; 1x100 µg/sem, 7 semaines consécutives) montre qu'en dépit d'une réponse inflammatoire pulmonaire prolongée, cette exposition n'a pas affecté la production quotidienne de sperme ni la concentration de testostérone chez les souris mâles adultes exposées. La publication de 2019 n'a pas objectivé l'apparition des effets transgénérationnels de la 1<sup>re</sup> à la 4<sup>e</sup> génération (F1 à F4) sur la fonction de reproduction des mâles, provenant de souris femelles (Fo) exposées par inhalation corps entier à 4,6 et 37 mg/m<sup>3</sup> de P90, 45 min/jour entre les 4<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> jours de la gestation. Aucune inflammation pulmonaire ni réponse aiguë en termes d'afflux de neutrophiles n'a été constatée chez les mères ni aucun changement significatif dans aucune des quatre générations de la lignée germinale mâle ou dans la 2<sup>e</sup> génération provenant de la lignée germinale femelle. Bien que les résultats obtenus par inhalation soient rassurants, il serait prématuré de conclure, en termes de transposition à l'homme, que l'exposition aux particules de carbone ne présente aucun risque pour la reproduction masculine.

Dans l'étude de Umezawa et al. [33], des souris femelles ont été exposées par inhalation à un aérosol de P90 (14 nm, 182 à 338 m<sup>2</sup>/g), 45 min/jour à 0,46 ou 37 mg/m<sup>3</sup> de P90 du 4<sup>e</sup> au 18<sup>e</sup> jour de gestation.

Chez les mâles de 6 semaines, a été constatée une altération dose-dépendante des macrophages périvasculaires cérébraux et des astrocytes. Lors du test en champ libre (*open field*), le comportement a été modifié à l'âge de 90 jours ; les auteurs remarquent que certains des effets observés présentent des similitudes frappantes avec ceux décrits dans des modèles murins de troubles du développement neurologique. L'absence de mesure pendant l'exposition ou immédiatement à la fin des expositions n'exclut pas une inflammation pulmonaire maternelle lors de la gestation, contribuant aux effets constatés chez leur descendance.

### EFFETS CARDIOVASCULAIRES

Les effets des nanoparticules sur le système cardiovasculaire sont peu compris. Chez l'homme et l'animal de laboratoire, les particules inhalées induisent localement une réponse inflammatoire pulmonaire menant à la libération de médiateurs pro-inflammatoires et/ou pro-thrombotiques dans la circulation [34]. En raison de leur taille, certaines nanoparticules pourraient également passer la barrière alvéolo-capillaire puis affecter l'homéostasie et l'intégrité cardiovasculaire en interagissant avec des cellules ou des macromolécules de la circulation sanguine ou d'organes secondaires [13]. Chez la souris, en accord avec des travaux antérieurs, Ganguly et al. [35] ont estimé que les effets cardiovasculaires observés après une inhalation de 4 ou 24h d'un aérosol très massivement nanométrique de NC (0,44 mg/m<sup>3</sup> ; 800 m<sup>2</sup>/g ; décharge d'étincelle) seraient plus la conséquence d'une réponse inflammatoire pulmonaire que d'une translocation des particules. L'exposition de souris par instillation endotrachéale à des nanoparticules de NC

conduisait à une accélération de la formation de plaques d'athérome chez des animaux déficients pour l'Apolipoprotéine E [36].

## EFFETS CHEZ L'HOMME

Des symptômes respiratoires et une altération de la fonction pulmonaire, associés à une augmentation des marqueurs circulants de l'inflammation ont été mis en évidence dans les études épidémiologiques. Dans les études les plus anciennes où les travailleurs étaient exposés aux niveaux les plus importants, des tableaux de pneumoconioses ont été observés. Les données épidémiologiques, analysées dans leur ensemble, ne sont pas suffisamment probantes pour conclure à la cancérogénicité du noir de carbone inhalé chez l'homme. Des modifications réversibles des paramètres de l'inflammation pulmonaire et systémique, ainsi que de certains paramètres cardiovasculaires, ont été observées à faible dose dans le cadre d'expositions contrôlées de courte durée.

### DONNÉES D'EXPOSITION DANS LES ÉTUDES EXPERTISÉES PAR LE CIRC [1]

Les expositions au NC indiquées dans les études expertisées par le CIRC [1] variaient considérablement d'une installation de production à l'autre et au fil du temps. Aucune donnée disponible ne permettait de caractériser ou de quantifier l'exposition aux particules primaires ultrafines. Les emballeurs et les nettoyeurs de sites subissaient les niveaux d'exposition les plus élevés. Certaines études antérieures à 1970 ont révélé que le secteur de la fabrication aurait pu être exposé à

## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

des niveaux extrêmement élevés d'exposition au NC. Des études réalisées dans cette industrie aux États-Unis et en Europe occidentale après la fin des années 1970 ont montré que l'exposition moyenne géométrique personnelle à la poussière inhalable était inférieure à 5 mg/m<sup>3</sup>. Vers le milieu des années 90, les niveaux géométriques moyens de poussières inhalables et respirables étaient respectivement inférieurs à 2 mg/m<sup>3</sup> et 0,5 mg/m<sup>3</sup>. L'exposition dans les industries utilisatrices est difficile à évaluer en raison du manque de données et de l'exposition concomitante à de nombreuses autres particules, mais les niveaux d'exposition sont supposés être plus faibles, à l'exception peut-être des travailleurs qui manipulaient du NC. L'exposition au NC ne se produit pas lors de l'utilisation de produits dans lesquels le NC est lié à d'autres matériaux, tels que le caoutchouc, les encres d'imprimerie ou les peintures.

### EFFETS RESPIRATOIRES HORS CANCERS

Parmi les effets respiratoires non cancérogènes chez les travailleurs expertisés par le CIRC [1] figurent la toux, la production d'expectorations, la bronchite, les opacités radiographiques thoraciques (par exemple, la pneumoconiose) et la diminution de la fonction pulmonaire. Les asthmatiques présentaient un dépôt total plus élevé de particules de carbone ultrafines dans les voies respiratoires par rapport aux individus en bonne santé. La quantité de NC déposée peut également croître avec l'augmentation du volume minute, par exemple chez les personnes qui font de l'exercice ou lors de lourdes charges de travail. Des charges pulmonaires massives et une diminution de la clairance pulmo-

naire ont été observées chez les mineurs.

Plus récemment, l'étude chinoise de Zhang et al. [37] a été réalisée chez 81 travailleurs employés depuis au moins 1 an (en moyenne 12,5 ans) dans un atelier de conditionnement de NC, afin d'évaluer les effets du NC ultrafin (taille des particules unitaires comprise entre 30 et 50 nm ; 50,8 % des particules inférieures à 523 nm et 96,7 % inférieures à 1 µm) sur la fonction pulmonaire, comparativement à un groupe de 104 travailleurs non exposés, issus d'une autre entreprise de la ville. Chez les sujets exposés, le niveau d'exposition moyen évalué en fraction inhalable à l'aide de prélèvements individuels chez 15 volontaires était de 14,9 mg/m<sup>3</sup>. Tous les sujets du groupe exposé présentaient une toux et/ou une expectoration chronique sans anomalie particulière sur les radiographies de thorax standards. Après ajustement sur l'âge, l'index de masse corporelle, le statut tabagique et la consommation de boissons alcoolisées, une altération significative de différents paramètres fonctionnels respiratoires, en faveur d'une obstruction bronchique, a été mise en évidence chez les travailleurs exposés au NC, comparativement aux sujets du groupe témoin. Ces altérations fonctionnelles étaient associées à des modifications des taux sériques de diverses cytokines pro-inflammatoires (IL-1β, IL-6, IL-8, MIP-1β, TNF-α).

L'actualisation de cette étude par Yang et al. [38] et son extension à 99 travailleurs exposés (médiane 9 ans) et 115 non exposés ont permis de mettre en évidence, après ajustement sur l'âge, l'index de masse corporelle, le statut tabagique et la consommation de boissons alcoolisées, une altération significative de différents paramètres fonctionnels respiratoires en faveur d'une

obstruction des petites voies aériennes chez les travailleurs exposés au NC comparativement aux sujets du groupe témoin [38]. Ces altérations fonctionnelles étaient associées à des modifications des taux sériques de 2 biomarqueurs précoces de toxicité pulmonaire : une diminution des taux de protéine CC16 et une augmentation des taux de protéine SP-A.

Une étude transversale iranienne a été réalisée chez 72 travailleurs exposés ou ayant été exposés au NC dans une entreprise fabriquant des pneus et des chambres à air, et 69 employés de bureau en bonne santé, non exposés et sélectionnés au hasard [39]. Les niveaux d'exposition aux poussières de NC inhalables et respirables ont été estimés à 6,2 ± 1,75 mg/m<sup>3</sup> et 2,3 ± 0,29 mg/m<sup>3</sup> respectivement (moyenne ± écart-type). Les symptômes respiratoires tels que toux régulière, expectorations, respiration sifflante et essoufflement étaient significativement plus fréquents chez les travailleurs exposés. En outre, des diminutions significatives de certains paramètres de la fonction pulmonaire, évocatrices d'un trouble ventilatoire restrictif, étaient observées entre le début et la fin du poste de travail chez les travailleurs exposés.

### CANCÉROGÉNÉCITÉ

Dans sa dernière évaluation datant de 2010, le CIRC a classé les NC dans le groupe 2B, peut-être cancérogènes pour l'homme, en raison de preuves suffisantes de cancérogénicité chez l'animal, mais inadéquates chez l'homme [1]. Chez l'homme, les données les plus informatives sont celles qui sont issues des études de cohortes réalisées dans le secteur de la production de noir de carbone en Allemagne, au Royaume-Uni et aux États-Unis. Les deux études menées en Allemagne

et au Royaume-Uni ont révélé un risque excédentaire par rapport aux références externes. La confusion causée par le tabagisme ne pouvait être exclue, même s'il était peu probable qu'elle explique tout le risque excédentaire. Cependant, dans les deux cohortes, les analyses internes par niveau d'exposition au NC ont donné des résultats équivoques mais principalement nuls. L'étude sur les travailleurs du NC aux États-Unis n'a suggéré aucune surmortalité, mais n'a pas évalué le risque en fonction du niveau d'exposition. Dans les études évaluant les risques de cancer du poumon parmi les industries utilisatrices, l'étude la plus informative sur les travailleurs allemands de l'industrie du caoutchouc a montré des signes d'excès de risque qui ont disparu avec l'ajustement sur l'amiante et le talc, dans l'analyse. Parmi les études restantes, deux autres ont montré des excès non significatifs (cohorte de salariés exposés au formaldéhyde aux États-Unis et étude cas-témoins basée sur une communauté canadienne) et une ne présentait aucun risque excessif de cancer du poumon lié à la manipulation du NC (dockers italiens). Pour les cancers de la vessie, des reins, de l'estomac et de l'œsophage, des résultats isolés indiquent des risques excédentaires, mais ils ne sont pas suffisants pour appuyer une évaluation de la cancérogénicité chez l'homme. Il n'existe aucune preuve d'un effet du NC sur d'autres cancers. En conclusion, deux des trois études sur les travailleurs de la production de NC ont observé un excès de risque de cancer du poumon et d'autres études ont fourni des preuves mitigées d'un risque accru de cancer du poumon et d'autres cancers. Les quelques études ayant évalué une relation dose-réponse, y compris les deux études ayant ob-

servé des risques excessifs par rapport à la population générale, ont fourni des preuves faibles ou peu concluantes. Globalement, le CIRC [1] a considéré que les résultats épidémiologiques étaient incohérents et ne permettaient pas de déterminer de manière suffisante si le NC était cancérogène chez l'homme. Plusieurs autres études sur la cancérogénicité du noir de carbone ont été publiées postérieurement au rapport du CIRC [1]. Une nouvelle analyse statistique des données issues des études cas-témoins québécoises réalisées dans la population de Montréal, portant uniquement sur le risque de cancer du poumon, ne retrouve pas d'excès de risque statistiquement significatif de cancer du poumon en relation avec les expositions au NC [40]. Une méta-analyse des études de mortalité réalisées dans le secteur de la production du NC en Allemagne, au Royaume-Uni et aux États-Unis n'a pas mis en évidence d'excès de risque significatif de cancers des appareils respiratoire et urinaire en lien avec les expositions au NC [41]. L'étude de mortalité américaine réalisée initialement sur une cohorte de 5 011 travailleurs employés dans 18 usines de production de NC [42] a été actualisée avec un suivi jusqu'en 2011, ce qui a conduit à une cohorte globale de 6 634 sujets. Une estimation de l'exposition individuelle cumulée a été réalisée à partir d'une matrice emploi-exposition. La relation entre l'exposition cumulée au NC (fraction inhalable) et la survenue d'un cancer du poumon a été analysée. Aucune surmortalité par cancer du poumon ou par maladie respiratoire non maligne n'a été mise en évidence. Par ailleurs, les auteurs considèrent les résultats en accord avec ceux des études réalisées au Royaume-Uni et en Allemagne, qui

ne montraient aucun profil cohérent d'augmentation du risque de cancer du poumon par rapport aux estimations de l'exposition au NC ou à la durée de l'emploi. Les estimations des risques relatifs (RR) par rapport à une population de référence (<20 mg.an/m<sup>3</sup>) étaient les suivants RR=1 [IC 95 % : 0,6-1,6] pour 20-50 mg.an/m<sup>3</sup>, RR=1,3 [IC 95 % : 0,8-2,1] pour 50-100 mg.an/m<sup>3</sup>, et RR=1,4 [IC 95 % : 0,9-2,1] pour 100 mg.an/m<sup>3</sup> ou plus. Les auteurs concluent que les niveaux d'exposition (10 à 50 mg/m<sup>3</sup>) qui prévalaient dans l'industrie du NC aux États-Unis dans les années 1970-1990 ne sont pas associés au risque de cancer du poumon [43].

Pour pallier le manque d'évaluation quantitative des trois études sur les cohortes des salariés de l'industrie de production du NC, et surtout pour élargir la plage des niveaux d'exposition, Yong et al. [44] ont fait une méta-régression. Ils notent une augmentation du RR de 1,03 [IC 95 % : 0,96 – 1,10], non statistiquement significative, pour une augmentation de l'exposition de 10 mg.an/m<sup>3</sup>. Les analyses de sensibilité, incluant entre autres la prise en compte d'une latence de 20 ans avant l'apparition du cancer du poumon, ne modifient pas les estimations. Les auteurs concluent qu'un lien causal entre exposition au NC et cancer du poumon n'est pas confirmé par les observations sur les salariés des trois grandes cohortes (plus de 9 000 personnes sur plusieurs dizaines d'années).

## AUTRES EFFETS

Une méta-analyse publiée en 2016, portant sur 3 cohortes de travailleurs exposés au NC dans le secteur de la production aux États-Unis, au Royaume-Uni et en Allemagne s'est intéressée à la mortalité cardiovasculaire. Aucun excès de risque statistiquement significatif

## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

de mortalité n'a été mis en évidence pour les 3 causes de décès considérées (maladies cardiaques, cardiopathies ischémiques, infarctus du myocarde) [45].

Une étude épidémiologique transversale réalisée en Chine chez 106 employés travaillant sur une chaîne de conditionnement d'une usine de production de NC (particules unitaires de 30 à 50 nm de diamètre associées à des agglomérats de 200 à 400 nm) et 112 sujets témoins non exposés appariés sur le sexe, l'âge et le statut tabagique. L'évaluation de l'exposition était réalisée à l'aide de prélèvements individuels sur les travailleurs. Chez les travailleurs employés sur la chaîne de conditionnement, les niveaux d'exposition aux particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>), carbone total et carbone élémentaire, étaient respectivement de 800, 696 et 657 µg/m<sup>3</sup> (vs 71, 42 et 4 µg/m<sup>3</sup> respectivement chez les témoins). Après ajustement sur le tabagisme, une augmentation statistiquement significative du taux d'éosinophiles circulants a été mise en évidence chez les sujets exposés comparativement aux sujets du groupe témoin [46].

### ÉTUDES SUR LES PARTICULES DE CARBONE ULTRAFINES EN CONDITIONS EXPÉRIMENTALES CONTRÔLÉES

Plusieurs études ont été réalisées aux États-Unis par différentes équipes, consistant à évaluer les effets potentiels de l'inhalation de faibles doses de particules de carbone ultrafin chez des sujets sains, asthmatiques ou diabétiques.

Une série de 4 études randomisées en double aveugle a été réalisée par une même équipe, afin d'évaluer l'effet d'un aérosol de particules de carbone ultrafin sur la fonction et l'inflammation pulmonaires [47].

Chaque sujet, sain ou légèrement asthmatique, a été exposé à de l'air filtré et à un aérosol de carbone ultrafin (diamètre médian en nombre = 23 - 28 nm) pendant 2 heures avec 2 à 3 semaines de repos entre deux séances d'exposition. Les sujets sains ont été exposés à 10, 25 et 50 µg/m<sup>3</sup> et les asthmatiques à 10 µg/m<sup>3</sup>. Aucune différence n'a été montrée chez les sujets sains ou asthmatiques exposés à 10 ou 25 µg/m<sup>3</sup> pour les paramètres de la fonction pulmonaire ou d'inflammation des voies respiratoires. En revanche, les auteurs ont observé, 21 heures après l'exposition de sujets sains à la plus haute concentration de 50 µg/m<sup>3</sup>, une réduction du débit expiratoire maximal médian (témoin d'une légère résistance des petites voies aériennes) et de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone. Ces réductions étaient temporaires et réversibles, puisqu'elles n'étaient plus observées lors des tests effectués 45 heures après l'exposition.

Une autre étude en conditions d'exposition contrôlée a été réalisée chez des volontaires sains et des sujets asthmatiques afin d'évaluer l'impact de l'inhalation de particules de carbone élémentaire ultrafines en termes d'inflammations pulmonaire et systémique [48]. Le protocole de l'étude consistait à exposer 12 volontaires sains au repos à de l'air ou à 10 µg/m<sup>3</sup> de particules de carbone ultrafines, 12 volontaires sains pendant un exercice physique à de l'air ou à 10 et 25 µg/m<sup>3</sup> de particules de carbone ultrafines et enfin, 16 volontaires asthmatiques pendant un exercice physique à de l'air ou à 10 µg/m<sup>3</sup> de particules de carbone ultrafines. La durée de chaque exposition était de 2 heures et l'intervalle entre chaque exposition de 2 à 3 semaines. Aucun effet significatif n'a été observé au repos chez les sujets sains. À l'effort, chez les

sujets sains ayant inhalé 25 µg/m<sup>3</sup> de particules de carbone ultrafines, une baisse du taux de monocytes et une activation des lymphocytes T, une réduction dose-dépendante de l'expression de la molécule d'adhésion ICAM-1 sur les monocytes, ainsi qu'une réduction transitoire du tonus parasympathique et des troubles de la repolarisation à l'électrocardiogramme étaient constatés. Chez les sujets asthmatiques, l'inhalation de 10 µg/m<sup>3</sup> de particules de carbone ultrafines était associée à une baisse des taux sanguins d'éosinophiles et de lymphocytes T CD4+, à une réduction de l'expression du *cluster* de différenciation CD11b sur les monocytes et les éosinophiles, à une baisse de l'expression de la molécule d'adhésion ICAM-1 sur les polynucléaires neutrophiles, ainsi qu'à une atteinte de la variabilité de la repolarisation à l'ECG. Aucun effet significatif n'était constaté en termes de symptomatologie, de fonction pulmonaire, de marqueurs d'inflammation des voies aériennes et de marqueurs solubles d'inflammation systémique et de coagulation. Une étude complémentaire a été réalisée par la même équipe selon un protocole comparable, à l'exception du fait qu'un groupe supplémentaire avait été ajouté, comprenant 16 sujets exposés lors d'un exercice intermittent à de l'air ou à 50 µg/m<sup>3</sup> de particules de carbone ultrafines, afin d'évaluer l'impact de l'exposition aux particules de carbone ultrafines sur l'expression des molécules d'adhésion à la surface des leucocytes circulants [49]. Chez les sujets sains exposés à l'effort, une réduction de l'expression des molécules d'adhésion CD54 et CD18 était mise en évidence sur les monocytes ainsi que des molécules CD18 et CD49d sur les granulocytes. Il y avait également une réduction dose-dépendante des taux de monocytes, baso-

philes et éosinophiles, ainsi qu'une augmentation de l'expression du marqueur d'activation lymphocytaire CD25. Chez les asthmatiques, une réduction de l'expression des marqueurs CD11b sur les monocytes et les éosinophiles et CD54 sur les granulocytes était constatée, ainsi que des taux circulants de lymphocytes T CD4+, de basophiles et d'éosinophiles. Au total, l'inhalation de faibles doses de particules de carbone ultrafines modifie la distribution des leucocytes périphériques et altère l'expression des molécules d'adhésion.

Deux groupes de 12 volontaires sains et non-fumeurs (18 à 40 ans) ont été exposés à des particules de carbone ultrafines élémentaire (diamètre moyen de 25 nm) pendant 2 heures, au repos (12 sujets) ou à l'effort (12 sujets), afin de déterminer si l'exposition entraînait des modifications électrocardiographiques, en particulier en termes de variabilité du rythme cardiaque et de repolarisation. Aucun effet cardiaque significatif n'a été observé aux doses testées (10 µg/m<sup>3</sup> au repos ; 10 et 25 µg/m<sup>3</sup> à l'effort), bien que, pour certains sujets, il ait été observé une tendance à l'augmentation du tonus du système nerveux autonome parasympathique et des troubles de la repolarisation ventriculaire infracliniques [50].

Dix-neuf sujets atteints de diabète de type 2, non-fumeurs, ont été exposés pendant 2 heures, au repos, à de l'air et à une dose unique de 50 µg/m<sup>3</sup> de particules de carbone ultrafines (diamètre moyen de 32 nm), afin d'évaluer les éventuels effets sur l'activation plaquettaire et sur l'endothélium vasculaire. L'exposition aux particules de carbone ultrafin était associée, 3,5 heures après la fin de l'exposition, à une élévation transitoire de l'expression du ligand CD40 sur les plaquettes et du nombre de conjugués leucocyte/

plaquette ainsi qu'à une diminution du taux de ligand CD40 soluble. Une augmentation du taux plasmatique de facteur Willbrand était également observée immédiatement après cessation de l'exposition [51]. Un ECG était également enregistré afin de déterminer si cette exposition avait un effet sur la fréquence et la variabilité du rythme cardiaque. L'exposition aux particules de carbone ultrafines était associée à une réduction significative de la variabilité du rythme cardiaque. À distance de l'exposition (21 à 45 heures post-exposition), la fréquence cardiaque était légèrement mais significativement plus élevée dans le cas de l'inhalation des particules de carbone ultrafines par rapport à l'inhalation d'air [52].

Les études en conditions expérimentales contrôlées montrent des modifications des paramètres de l'inflammation ainsi que cardiaques. Néanmoins il n'y a pas de relation dose-effet claire avec, parfois, des augmentations suivies de diminutions. Les effets les plus marqués ne sont pas observés avant 50 µg/m<sup>3</sup> chez les personnes saines. Les expositions étant de courte durée, souvent 2 heures, il est difficile de savoir si les phénomènes observés sont à caractère adaptatif et transitoire ou représentent un effet qui, en devenant chronique, serait susceptible d'entraîner des états morbides.

## MÉTROLOGIE

En hygiène industrielle, les méthodes conventionnelles d'évaluation de l'exposition par inhalation des salariés à des aérosols reposent sur la caractérisation de leur concentration massique dans l'air. Dans le cas d'aérosols contenant des particules nanostructurées,

une démarche plus spécifique doit être mise en place pour l'évaluation des expositions professionnelles [53]. Pour le NC, cette démarche doit également être adaptée au caractère ubiquitaire du carbone dans l'atmosphère.

Concernant le NC, la métrique actuellement basée sur la mesure de la concentration massique du carbone élémentaire reste la plus adaptée pour répondre au besoin d'une évaluation de l'exposition. Deux approches sont envisageables pour mesurer l'exposition aux NC :

- la mesure en différé, qui comporte une phase de collecte des particules dans l'air sur une durée définie, suivie d'une analyse *a posteriori* en laboratoire ;
- la mesure en temps réel à l'aide d'un dispositif qui va évaluer en continu la concentration dans l'air, dessiner un profil d'exposition permettant d'identifier d'éventuels pics d'exposition et intégrer la concentration sur la durée du prélèvement. Pour ces deux approches, les nanoaérosols de carbone étant susceptibles de se déposer majoritairement dans les alvéoles pulmonaires, ce sont, *a minima*, les dispositifs de prélèvement ciblant la fraction conventionnelle alvéolaire de l'aérosol qui sont utilisés.

## MESURE EN DIFFÉRÉ

Les méthodes en différé ne sont utilisables que si l'atmosphère considérée est identifiée comme ne renfermant que des nanoaérosols de NC. Elles ne sont pas spécifiques des particules de taille nanométrique et/ou du carbone élémentaire constituant le NC mais aussi présent dans d'autres particules d'origines variées.

Pour les méthodes en différé, le prélèvement est réalisé dans la sphère respiratoire du salarié avec un dispositif de prélèvement, relié à une pompe régulée et fixée sur le salarié,



## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

apte à prélever la fraction alvéolaire de l'aérosol comme, par exemple, le sélecteur cyclonique, dit « cyclone », de type Dorr-Oliver, Higgins-Dewell, GK 2.69 ou tout autre dispositif [54]. Dans ce dispositif, les particules pénètrent de façon tangentielle pour subir un mouvement circulaire. Les grosses particules, de grande inertie, sont entraînées sur la périphérie interne du cyclone par la force centrifuge ; les fines particules, de plus faible inertie, s'éloignent moins de l'axe du cyclone et sont entraînées par un vortex ascendant vers une sortie axiale en partie supérieure du cyclone où elles sont collectées dans une cassette porte-filtre. La sensibilité de la méthode peut être notablement augmentée en utilisant un dispositif de prélèvement de la fraction alvéolaire fonctionnant à un débit élevé (> 4 L/min).

Pour l'analyse, si les nanoparticules de NC forment l'unique source d'exposition et qu'aucun autre aérosol n'est susceptible d'être présent, la gravimétrie peut être utilisée. Une membrane, généralement en PVC, disposée dans le porte-filtre des cyclones, collecte les particules ; la différence de masse entre la membrane pesée au laboratoire avant et après le prélèvement, rapportée au volume d'air prélevé, permet de calculer la concentration massique des particules [55].

Une autre méthode est utilisée par de nombreux organismes sur la base du dosage spécifique du carbone élémentaire [56, 57]. La collecte des particules, dans un cyclone ou sur le plateau d'un impacteur, est réalisée sur un filtre en fibre de quartz, préalablement décarboné par chauffage pendant 48h à haute température (> 450 °C). Après prélèvement, la masse de carbone dans les particules collectées est quantifiée à l'aide d'un analyseur spécifique du carbone, thermique ou thermo-optique. Le filtre de collecte

est porté à des paliers de température successifs jusqu'à 980 °C, sous une atmosphère inerte puis oxydante. Sous atmosphère inerte, le carbone élémentaire est thermiquement stable et seuls les composés organiques sont volatilisés, oxydés par catalyse en dioxyde de carbone et dosés en coulométrie ou après réduction en méthane par détection spectrométrique. Le carbone résiduel sur le filtre correspond au carbone élémentaire qui, à haute température et en présence d'oxygène, s'oxyde en dioxyde de carbone qui sera détecté et dosé. Par un suivi laser de la variation des propriétés optiques de la surface du filtre, la version thermo-optique de cet analyseur, postérieure à la version thermique, permet de différencier plus finement la fraction organique de la fraction élémentaire du carbone. Dans la mesure où les nanoparticules de NC sont essentiellement formées de carbone élémentaire ( $[C_{\text{élé}}] > 97\%$ ) et ne contiennent que de faibles quantités de carbone organique, les méthodes thermique et thermo-optique peuvent être utilisées sans biais important.

### MESURE EN TEMPS RÉEL

Combinant la détermination de la nature chimique de la particule et la mesure en temps réel, l'évaluation de l'exposition peut être menée avec un micro-aéthalomètre, appareil conçu pour la mesure de la concentration des particules de suies dans l'air. De petites dimensions, léger et autonome, le micro-aéthalomètre a été développé pour être porté dans la sphère respiratoire du salarié. Il renferme une pompe qui prélève l'atmosphère à un débit compris entre 50 et 150 mL/min et peut être équipé d'un mini cyclone dont le diamètre de coupure (correspondant à une probabilité de collecte de 50 %) de 2,5 µm échantillonne une fraction granulométrique proche

de la fraction alvéolaire. Le dosage repose sur la mesure de l'atténuation, due à l'absorption par les particules de carbone-suie collectées sur une membrane téflon, de l'intensité d'un faisceau infra-rouge à la longueur d'onde de 880 nm. Assez sélectif, il comptabilise l'ensemble des particules issues de combustions renfermant un noyau de carbone élémentaire. En théorie, la concentration en carbone-suie donnée par l'aéthalomètre n'est pas rigoureusement équivalente à la concentration en carbone élémentaire, les coefficients d'adsorption des deux substances diffèrent légèrement, mais les deux valeurs sont proches.

**Ces méthodes**, en différé ou en temps réel, gravimétrique ou de quantification du carbone élémentaire, ne sont fiables que si l'utilisateur s'est assuré de la nature nanométrique de l'aérosol carboné et du caractère mono-pollué de l'atmosphère. Il est primordial de distinguer l'aérosol cible, les nanoparticules de NC, des autres aérosols qui peuvent le masquer [58] :

- aérosols carbonés, nano ou micrométriques générés conjointement dans le procédé industriel, pour l'élaboration de matériaux composites, résines, agents de réticulation, huiles, élastomère, pigments... ;
- « aérosol de fond » provenant de sources anthropogéniques ou naturelles telles les particules fines d'émissions diesel, de chauffages domestiques...

En cas de doute, pour estimer les biais dus aux interférents, le *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) préconise la réalisation de prélèvements en extérieur, pour évaluer le fond en particules carbonées, et dans un local non suspecté d'être pollué par les nanoparticules de NC mais proche de celui où évolue le salarié dont on désire évaluer l'exposition

[59]. D'autres techniques utilisées conjointement au prélèvement individuel peuvent aussi permettre de vérifier la nature et la taille des particules prélevées et ainsi conforter la qualité de l'évaluation réalisée. Ainsi, le prélèvement sur une grille dédiée à la microscopie électronique, combiné à des techniques de microanalyse ou de spectroscopie, doit permettre de contrôler la nature nanométrique des particules, l'homogénéité de la population et sa nature chimique [60].

Le **tableau V** regroupe les limites de quantification habituellement retenues pour les techniques évoquées. Ces valeurs sont indicatives et varient en fonction des paramètres inhérents au prélèvement et à l'analyse.

## MESURES DE PRÉVENTION

Les mesures de prévention qui doivent être prises pour réduire l'exposition des salariés aux particules de NC sont de deux ordres : des moyens de protection collective et des moyens de protection individuelle. Comme indiqué dans l'article de Ling et al. [61] la combinaison de ces deux types de moyens de protection est à même de réduire très fortement l'exposition.

L'avancée des travaux de recherche sur les effets toxicologiques du NC ultrafin pointe la nécessité de réduire l'exposition des salariés par la mise en place de moyens de prévention. Dans le cas des nanoparticules, il est recommandé d'adopter le principe d'une double barrière de protection entre les nanoparticules et l'opérateur, la première barrière devant être placée au plus près de la source potentielle d'émission. La barrière peut être matérielle (conteneur, boîte à gants, réacteur fermé) ou immatérielle (confinement dynamique réalisé par une enceinte ventilée ou un captage inducteur) [62].

Les moyens de protection collective utiliseront, par ordre décroissant d'efficacité, les dispositifs de confinement, les systèmes de captage inducteurs et la ventilation des locaux (barrières de pression). Les dispositifs de ventilation comprendront un étage de filtration à très haute efficacité (filtre H14, selon NF EN 1822-1) situé au plus proche de la source pour éviter la contamination des équipements.

Plusieurs résultats de la littérature montrent que les enceintes de confinement et les dispositifs de captage ont une efficacité similaire lorsqu'ils sont utilisés pour maîtriser les émissions de gaz ou d'aérosols nanométriques [63]. Des équipements

permettant de confiner les procédés de production ou de manipulation des poudres nanométriques (sorbonnes, postes de sécurité cytotoxique, enceintes ventilées en dépression...) seront utilisés de préférence ; ceux-ci sont particulièrement bien adaptés aux installations de type laboratoire (de dimensions réduites). Pour les procédés industriels, des dispositifs de captage inducteur (anneaux aspirants pour le remplissage de sacs ou containers, dosserets aspirants, cabines ouvertes d'aspiration...) pourront aussi être utilisés ; certains dispositifs décrits dans le guide de ventilation « *Emploi de matériaux pulvérulents* » [64] sont transposables au cas des nanoparticules. Le degré de confinement des procédés devra être adapté à l'intensité des sources générées par la fabrication ou la manipulation de NC ainsi qu'aux valeurs limites retenues pour l'évaluation des risques [65 à 67].

Lorsque la double barrière de confinement n'est pas assurée, le port de protections individuelles peut s'avérer indispensable (par exemple lors des opérations de maintenance et de nettoyage). Il est recommandé de porter un appareil de protection respiratoire filtrant anti-aérosols (filtre de classe 3), à ventilation libre ou assistée en fonction de l'exposition attendue (concentration en nanoparticules, durée...), ainsi que des vêtements de protection contre le risque chimique de type 5 et des gants [62].

Le choix de l'appareil de protection respiratoire (APR) approprié doit se faire suite à une analyse des risques au poste de travail qui intègre le risque d'exposition au NC mais également les autres risques pouvant être présents simultanément au poste de travail (chaleur, bruit, autre polluant...). L'étape de choix du type de protection individuelle respiratoire repose sur l'estimation de la

### ↓ Tableau V

#### ➤ LIMITES DE QUANTIFICATION POUR LES DIFFÉRENTS DISPOSITIFS ET TECHNIQUES UTILISÉS

Dispositif	Particules visées	Mode de détermination	Limite de quantification 8h de prélèvements
Cyclones (GK 2.69, Dorr-Oliver, Higgins-Dewell) Ø filtre 37 ou 25 mm	$\Phi_{a.e. \text{ moyen}} \leq 4 \mu\text{m}$	Gravimétrie	$\approx 25 \text{ à } 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ *
		Analyse thermique ou thermo-optique	$\approx 1 \text{ à } 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
micro-aéthalomètre	Suies $\Phi_{a.e. \text{ moyen}} \leq 2,5 \mu\text{m}$	Optique	$\approx 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

\* Données calculées selon NF ISO 15767 et issues d'un circuit inter-laboratoire sur filtre PVC, dispositif de prélèvement cyclone Dorr-Oliver au débit de 1,5 L/min : 65 à 93  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ; dispositif de prélèvement cyclone GK 2.69 37 mm au débit de 4,2 L/min : 23 à 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [55].

## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

réduction de l'exposition nécessaire pour garantir la protection du salarié [68]. La protection minimale requise sera estimée par le rapport entre la concentration individuelle mesurée au poste de travail et la valeur limite d'exposition professionnelle recommandée. Différents niveaux de protection minimale pourront être définis en fonction des différents niveaux d'exposition individuelle mesurés lors des différentes phases de travail. Dans chaque cas, l'APR choisi devra avoir un facteur de protection assigné (FPA) supérieur ou égal à ce niveau de protection minimal. En effet le FPA prend en compte l'efficacité de filtration de l'APR mais également les fuites au visage lors de son utilisation puisque les valeurs de FPA sont issues de campagnes de mesure en situation de travail [68]. Le ou les type(s) d'APR étant défini(s), l'étape suivante de choix du modèle d'APR doit garantir son adaptation à la tâche réalisée et au porteur en intégrant le confort. Les caractéristiques faciales du porteur seront prises en compte pour le choix du modèle et de la taille de l'APR qui seront validés par un test d'ajustement du masque choisi sur le porteur, conformément aux recommandations de l'INRS [69]. L'utilisation des APR mis en place ne sera efficace que si un programme de protection respiratoire est développé en parallèle. Outre le choix des APR, ce programme doit comporter un volet de formation des opérateurs au port et à la maintenance de ces APR [68].

Le comportement aérodynamique des nanoparticules favorise leur captage par des systèmes de ventilation et par des filtres mais également leur dépôt sur les surfaces. Ceci nécessite d'établir des procédures de maintenance des installations, notamment de ventilation et de filtration, qui intègrent le risque d'exposition à ces dépôts de particules ultrafines.

### ÉLÉMENTS ET DISCUSSION EN VUE DE L'ÉTABLISSEMENT D'UNE VLEP

Cet article a pour objectif d'engager des réflexions sur la possibilité de définir une VLEP pour le noir de carbone nanométrique en proposant une démarche pour l'évaluation de l'exposition à ces aérosols ainsi que les principales mesures de prévention à recommander.

Le corpus de données publiées, tant toxicologiques qu'épidémiologiques, semble suffisant pour construire une VLEP au sein d'une expertise collective. Les études épidémiologiques chez les travailleurs américains du NC n'ont montré aucun excès de cancer du poumon. Les études chez l'animal sont contrastées : positives chez le rat, négatives chez la souris ou le hamster. Plusieurs études expérimentales par inhalation ont montré que le NC induisait des tumeurs pulmonaires chez le rat lorsqu'il est administré à des doses entraînant une surcharge pulmonaire en particules, ainsi qu'une inflammation chronique et une hyperplasie épithéliale. Bien que le mécanisme de cancérogénèse chez le rat ne soit pas en totalité transposable à l'homme du fait de différences en termes de toxicocinétique et de sensibilité à l'induction d'une réponse inflammatoire pulmonaire, ce résultat positif a conduit le CIRC [1] à ne pouvoir exclure chez l'homme le risque des conséquences résultant d'une surcharge pulmonaire et à classer le NC dans le groupe 2B (l'agent est peut-être cancérogène pour l'homme) : cette évaluation reposait sur des preuves insuffisantes chez l'homme et suffisantes chez l'animal de laboratoire.

L'objectif de la future VLEP sera donc de prévenir une surcharge pulmonaire entraînant une génotoxicité

secondaire associée à une inflammation pulmonaire persistante et conduisant à des effets potentiels pulmonaires tels que la fibrose et le cancer. Pour y parvenir, des études comme celles d'Elder et al. [9] et Driscoll et al. [25] peuvent être utilisées. Dans les deux cas, il s'agissait d'expositions subchroniques de 13 semaines par inhalation à des NC de fourneau dont la surface spécifique est importante (300 et 220 m<sup>2</sup>/g), permettant d'obtenir chez le rat, espèce la plus sensible, les NOAEL respectifs de 1 mg/m<sup>3</sup> et 1,1 mg/m<sup>3</sup>.

À partir de ces NOAEL, une modélisation permet ensuite d'obtenir la concentration équivalente chez l'homme (CEH) [70, 71]. Ces calculs peuvent faire intervenir la surface spécifique de particules déposées dans les poumons correspondant au NOAEL chez le rat comme dans l'expertise du NIOSH [72] : d'après la littérature, cette métrique décrit bien les relations dose-réponse pour les particules faiblement solubles et de faible toxicité intrinsèque [73, 74] malgré les différences de taille, de composition chimique et de structure cristalline des particules [71].

L'approche appliquée dans le rapport de la Commission allemande *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (DFG) relatif aux valeurs limites d'exposition (valeurs MAK, *Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen*) [70] et utilisée récemment dans un rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [75], prend notamment en compte les différences de temps d'élimination entre le rat et l'homme et conduit pour le NC à des CEH de 0,122 et de 0,169 mg/m<sup>3</sup> à partir respectivement des NOAEL de Elder et al. [9] et Driscoll et al. [25].

Afin d'obtenir la VLEP, des facteurs d'incertitudes conventionnels

peuvent être aussi appliqués sur la CEH. Un de ces facteurs pourra considérer les effets potentiels sur les organes distants suite à la translocation pulmonaire au long cours du dépôt alvéolaire telle qu'identifiée par des expérimentations court terme chez le rongeur. Cette translocation décrite dans la littérature est certes de très faible intensité mais, sur le long terme ou pendant la grossesse, pourrait se révéler significative et éventuellement néfaste pour la santé.

La valeur de la future VLEP devra être exprimée en masse pour des raisons pratiques liées au contrôle des expositions professionnelles. Pour être qualifiées, les méthodes de mesure doivent permettre d'atteindre 1/10<sup>e</sup> de la VLEP. La méthode actuelle la plus sensible ne permettrait pas d'évaluer des expositions inférieures à 10 µg/m<sup>3</sup> pour un prélèvement de 8 h, ce qui pourrait poser des problèmes en termes de prévention. Le contrôle des expositions professionnelles devra également intégrer le fait que, dans la plupart des atmosphères de travail concernées, l'aérosol comprendra des particules alvéolaires micrométriques, en plus des nanométriques et nanostructurées. Il sera aussi nécessaire de tenir compte qu'une part significative de la masse prélevée sera représentée par les poussières micrométriques provenant de la pollution atmosphérique : le Haut Conseil de la santé publique [76] soulignait en effet qu'« en l'absence de sources intérieures, la contribution des sources extérieures permet d'expliquer une large part des concentrations mesurées dans les espaces clos, les teneurs dans une pièce étant bien corrélées aux concentrations extérieures » et que « 80 % des niveaux de PM<sub>2,5</sub> dans l'air ambiant étaient retrouvés dans l'air intérieur ».

## CONCLUSION

Le corpus de données publiées, tant épidémiologiques que toxicologiques, semble suffisant pour construire une VLEP au sein d'une expertise collective. Les études épidémiologiques chez les travailleurs américains du NC n'ont montré aucun excès de cancer du poumon. Les études expérimentales par inhalation sont négatives chez la souris ou le hamster mais positives chez le rat, avec l'induction de tumeurs pulmonaires lorsque le NC est administré à des doses entraînant une surcharge pulmonaire en particules, ainsi qu'une inflammation chronique et une hyper-

plasie épithéliale. Ce mécanisme a conduit le CIRC [1] à conclure que le NC est « *peut-être cancérigène pour l'homme* » (groupe 2B).

En conséquence, l'objectif est de prévenir une surcharge pulmonaire conduisant à une inflammation pulmonaire persistante suivie d'une fibrose ou d'un cancer. Ce mécanisme d'action ainsi que les caractéristiques physicochimiques d'insolubilité et de (faible) réactivité du noir de carbone ont permis la sélection d'études clés et le calcul d'une concentration équivalente humaine (CEH) sur laquelle un groupe d'expertise collective décidera de l'application de facteurs d'incertitude permettant de finaliser une VLEP 8 h.

## POINTS À RETENIR

- Le noir de carbone est composé de carbone élémentaire pratiquement pur structuré en particules primaires quasi sphériques de diamètres moyens compris entre 10 et 500 nanomètres et de particules nanostructurées.
- En France, à partir des données d'exposition issues de la base COLCHIC, la médiane des concentrations atmosphériques sur la période 1994-2018 est de 0,6 mg/m<sup>3</sup>. Les données disponibles concernent principalement le secteur de la fabrication et les tâches d'ensachage et de chargement de trémies ou de silos.
- Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le noir de carbone comme « *peut-être cancérigène pour l'homme* » (groupe 2B).
- Chez le rat, l'inhalation de noir de carbone induit des tumeurs pulmonaires à des doses entraînant une surcharge pulmonaire en particules, ainsi qu'une inflammation chronique et une hyperplasie épithéliale.
- Une concentration équivalente humaine comprise entre 0,122 et 0,169 mg/m<sup>3</sup>, a pu être déterminée, sur laquelle un groupe d'expertise collective pourrait construire une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) 8 h, après application de facteur(s) d'incertitude.
- La sensibilité des techniques analytiques disponibles doit être considérée.
- *A minima*, les dispositifs de prélèvement ciblant la fraction conventionnelle alvéolaire seront utilisés. Des mesures en différé ou en temps réel peuvent être réalisées, en s'assurant de la nature nanométrique de l'aérosol carboné et du caractère mono-pollué de l'atmosphère.
- Les mesures de prévention à mettre en œuvre sont en priorité des mesures de protection collective, basées sur le principe de double barrière entre les nanoparticules et l'opérateur. Une information et une formation des opérateurs doivent accompagner ces mesures.



## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

### BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 93. IARC, 2010 (<http://monographs.iarc.fr/>).
- 2 | Guide de l'utilisateur du noir de carbone. Information sur la santé, la sécurité et l'environnement. Association Internationale de Noir de Carbone (AINC), 2016 (<http://www.carbon-black.org/images/docs/2016-ICBA-Carbon-Black-Users-Guide-French.pdf>).
- 3 | Noir de carbone. Fiche toxicologique FT 264. In: Fiches toxicologiques. INRS, 2007 ([www.inrs.fr/fichetox](http://www.inrs.fr/fichetox)).
- 4 | JANSSEN NAH, GERLOFS-NIJLAND ME, LANKI T, SALONEN RO ET AL. - Impact sanitaire du carbone noir. OMS, 2012 ([www.euro.who.int/fr/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2012/health-effects-of-black-carbon-2012](http://www.euro.who.int/fr/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2012/health-effects-of-black-carbon-2012)).
- 5 | Human respiratory tract model for radiological protection. A report of a Task Group of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 66. *Ann ICRP* 1994 ; 24 (1-3) : 1-482.
- 6 | Methods for derivation of inhalation reference concentrations and application of inhalation dosimetry. EPA/600/8-90/066F. Environmental Protection Agency (US EPA), 1994 ([https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/rfc\\_methodology.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/rfc_methodology.pdf)).
- 7 | KREYLING WG, SEMMLER-BEHNKE M, TAKENAKA S, MÖLLER W - Differences in the biokinetics of inhaled nano- versus micrometer-sized particles. *Acc Chem Res*. 2013 ; 46 (3) : 714-22.
- 8 | MORROW PE - Possible mechanisms to explain dust overloading of the lungs. *Fundam Appl Toxicol*. 1988 ; 10 (3) : 369-84.
- 9 | ELDER A, GELEIN R, FINKELSTEIN JN, DRISCOLL KE ET AL. - Effects of subchronically inhaled carbon black in three species. I. Retention kinetics, lung inflammation, and histopathology. *Toxicol Sci*. 2005 ; 88 (2) : 614-29.
- 10 | PAULUHN J - Subchronic 13-week inhalation exposure of rats to multiwalled carbon nanotubes: toxic effects are determined by density of agglomerate structures, not fibrillar structures. *Toxicol Sci*. 2010 ; 113 (1) : 226-42.
- 11 | PAULUHN J - Poorly soluble particulates: Searching for a unifying denominator of nanoparticles and fine particles for DNEL estimation. *Toxicology*. 2011 ; 279 (1-3) : 176-88.
- 12 | LEVY L, CHAUDHURI IS, KRUEGER N, MCCUNNEY RJ - Does carbon black disaggregate in lung fluid? A critical assessment. *Chem Res Toxicol*. 2012 ; 25 (10) : 2001-06.
- 13 | KREYLING WG, SEMMLER-BEHNKE M, SEITZ J, SCYMCZAK W ET AL. - Size dependence of the translocation of inhaled iridium and carbon nanoparticle aggregates from the lung of rats to the blood and secondary target organs. *Inhal Toxicol*. 2009 ; 21 (Suppl 1) : 55-60.
- 14 | KERMANIZADEH A, BALHARRY D, WALLIN H, LOFT S ET AL. - Nanomaterial translocation. The biokinetics, tissue accumulation, toxicity and fate of materials in secondary organs. A review. *Crit Rev Toxicol*. 2015 ; 45 (10) : 837-72.
- 15 | GEISER M, KREYLING WG - Deposition and biokinetics of inhaled nanoparticles. *Part Fibre Toxicol*. 2010 ; 7 : 2.
- 16 | WIEBERT P, SANCHEZ-CRESPO A, FALK R, PHILIPSON K ET AL. - No significant translocation of inhaled 35-nm carbon particles to the circulation in humans. *Inhal Toxicol*. 2006 ; 18 (10) : 741-47.
- 17 | Nanomaterials. Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area. Report of Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Weinheim : Wiley-VCH Verlag ; 2013 : 94 p.
- 18 | GALLAGHER J, SAMS R 2ND, INMON J, GELEIN R ET AL. - Formation of 8-oxo-7,8-dihydro-2'-deoxyguanosine in rat lung DNA following subchronic inhalation of carbon black. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2003 ; 190 (3) : 224-31.
- 19 | GILMOUR PS, ZIESENIS A, MORRISON ER, VICKERS MA ET AL. - Pulmonary and systemic effects of short-term inhalation exposure to ultrafine carbon black particles. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2004 ; 195 (1) : 35-44.
- 20 | CHEN S, YIN R, MUTZE K, YU Y ET AL. - No involvement of alveolar macrophages in the initiation of carbon nanoparticle induced acute lung inflammation in mice. *Part Fibre Toxicol*. 2016 ; 13 (1) : 33.
- 21 | SCHMID O, STOEGER T - Surface area is the biologically most effective dose metric for acute nanoparticle toxicity in the lung. *J Aerosol Sci*. 2016 ; 99 : 133-43.
- 22 | CARTER JM, CORSON N, DRISCOLL KE, ELDER A ET AL. - A comparative dose-related response of several key pro- and antiinflammatory mediators in the lungs of rats, mice, and hamsters after subchronic inhalation of carbon black. *J Occup Environ Med*. 2006 ; 48 (12) : 1265-78.
- 23 | MA-HOCK L, STRAUSS V, TREUMANN S, KÜTTLER K ET AL. - Comparative inhalation toxicity of multi-wall carbon nanotubes, graphene, graphite nanoplatelets and low surface carbon black. *Part Fibre Toxicol*. 2013 ; 10 : 23.
- 24 | LIM CH, KANG M, HAN JH, YUN HI - Effects of Nano-sized Carbon Black on the Lungs of High Fat-diet Induced Overweight Rats. *Environ Health Toxicol*. 2013 ; 28 : e2013014.
- 25 | DRISCOLL KE, CARTER JM, HOWARD BW, HASSENBEIN DG ET AL. - Pulmonary inflammatory, chemokine, and mutagenic responses in rats after subchronic inhalation of carbon black. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1996 ; 136 (2) : 372-80.
- 26 | NIKULA KJ, SNIPES MB, BARR EB, GRIFFITH WC ET AL. - Comparative pulmonary toxicities and carcinogenicities of chronically inhaled diesel exhaust and carbon black in F344 rats. *Fundam Appl Toxicol*. 1995 ; 25 (1) : 80-94.
- 27 | Opinion on Carbon black (nano-form). Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS/1515/13). Second revision of 15 December 2015. European Commission, 2015 ([https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consumer\\_safety/docs/sccs\\_o\\_144.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_144.pdf)).

- 28 | LINDNER K, WEBERING S, STROEBELE M, BOCKHORN H ET AL. - Low Dose Carbon Black Nanoparticle Exposure Does Not Aggravate Allergic Airway Inflammation in Mice Irrespective of the Presence of Surface Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Nanomaterials* (Basel). 2018 ; 8 (4) : E213.
- 29 | MODRZYNSKA J, BERTHING T, RAVN-HAREN G, JACOBSEN NR ET AL. - Primary genotoxicity in the liver following pulmonary exposure to carbon black nanoparticles in mice. *Part Fibre Toxicol*. 2018 ; 15 (1) : 2.
- 30 | SKOVMAND A, JENSEN ACØ, MAURICE C, MARCHETTI F ET AL. - Effects of maternal inhalation of carbon black nanoparticles on reproductive and fertility parameters in a four-generation study of male mice. *Part Fibre Toxicol*. 2019 ; 16 (1) : 13.
- 31 | EMA M, HOUGAARD KS, KISHIMOTO A, HONDA K - Reproductive and developmental toxicity of carbon-based nanomaterials: A literature review. *Nanotoxicology*. 2016 ; 10 (4) : 391-412.
- 32 | SKOVMAND A, JACOBSEN LAUVÅS A, CHRISTENSEN P, VOGEL U ET AL. - Pulmonary exposure to carbonaceous nanomaterials and sperm quality. *Part Fibre Toxicol*. 2018 ; 15 (1) : 10.
- 33 | UMEZAWA M, ONODA A, KORSHUNOVA I, JENSEN AC ET AL. - Maternal inhalation of carbon black nanoparticles induces neurodevelopmental changes in mouse offspring. *Part Fibre Toxicol*. 2018 ; 15 (1) : 36.
- 34 | SEATON A, MACNEE W, DONALDSON K, GODDEN D - Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*. 1995 ; 345 (8943) : 176-78.
- 35 | GANGULY K, ETEHADIEH D, UPADHYAY S, TAKENAKA S ET AL. - Early pulmonary response is critical for extra-pulmonary carbon nanoparticle mediated effects: comparison of inhalation versus intra-arterial infusion exposures in mice. *Part Fibre Toxicol*. 2017 ; 14 (1) : 19.
- 36 | CHRISTOPHERSEN DV, JACOBSEN NR, JENSEN DM, KERMAZIZADEH A ET AL. - Inflammation and vascular effects after repeated intratracheal instillations of carbon black and lipopolysaccharide. *PLoS One*. 2016 ; 11(8) : e0160731.
- 37 | ZHANG R, DAI Y, ZHANG X, NIU Y ET AL. - Reduced pulmonary function and increased pro-inflammatory cytokines in nanoscale carbon black-exposed workers. *Part Fibre Toxicol*. 2014 ; 11 : 73.
- 38 | YANG M, LI Y, MENG T, ZHANG L ET AL. - Ultrafine CB-induced small airway obstruction in CB-exposed workers and mice. *Sci Total Environ*. 2019 ; 671 : 866-73.
- 39 | NEGHAB M, MOHRAZ MH, HASSANZADEH J - Symptoms of respiratory disease and lung functional impairment associated with occupational inhalation exposure to carbon black dust. *J Occup Health*. 2011 ; 53 (6) : 432-38.
- 40 | RAMANAKUMAR AV, PARENT ME, LATREILLE B, SIEMIATYCKI J - Risk of lung cancer following exposure to carbon black, titanium dioxide and talc: results from two case-control studies in Montreal. *Int J Cancer*. 2008 ; 122 (1) : 183-89.
- 41 | ROTA M, BOSETTI C, BOCCIA S, BOFFETTA P ET AL. - Occupational exposures to polycyclic aromatic hydrocarbons and respiratory and urinary tract cancers: an updated systematic review and a meta-analysis to 2014. *Arch Toxicol*. 2014 ; 88 (8) : 1479-90.
- 42 | DELL LD, MUNDT KA, LUIPPOLD RS, NUNES AP ET AL. - A cohort mortality study of employees in the U.S. carbon black industry. *J Occup Environ Med*. 2006 ; 48 (12) : 1219-29.
- 43 | DELL LD, GALLAGHER AE, CRAWFORD L, JONES RM ET AL. - Cohort Study of Carbon Black Exposure and Risk of Malignant and Nonmalignant Respiratory Disease Mortality in the US Carbon Black Industry. *J Occup Environ Med*. 2015 ; 57 (9) : 984-97.
- 44 | YONG M, ANDERLE L, LEVY L, MCCUNNEY RJ - Carbon Black and Lung Cancer Mortality. A Meta-regression Analysis Based on Three Occupational Cohort Studies. *J Occup Environ Med*. 2019 ; 61 (11) : 949-54.
- 45 | MORFELD P, MUNDT KA, DELL LD, SORAHAN T ET AL. - Meta-Analysis of Cardiac Mortality in Three Cohorts of Carbon Black Production Workers. *Int J Environ Res Public Health*. 2016 ; 13 (3) : E302.
- 46 | DAI Y, NIU Y, DUAN H, BASSIG BA ET AL. - Effects of occupational exposure to carbon black on peripheral white blood cell counts and lymphocyte subsets. *Environ Mol Mutagen*. 2016 ; 57 (8) : 615-22.
- 47 | PIETROPAOLI AP, FRAMPTON MW, HYDE RW, MORROW PE ET AL. - Pulmonary function, diffusing capacity, and inflammation in healthy and asthmatic subjects exposed to ultrafine particles. *Inhal Toxicol*. 2004 ; 16 (Suppl 1) : 59-72.
- 48 | FRAMPTON MW, UTELL MJ, ZAREBA W, OBERDÖRSTER G ET AL. - Effects of exposure to ultrafine carbon particles in healthy subjects and subjects with asthma. *Res Rep Health Eff Inst*. 2004 ; 126 : 1-47 ; discussion 49-63.
- 49 | FRAMPTON MW, STEWART JC, OBERDÖRSTER G, MORROW PE ET AL. - Inhalation of ultrafine particles alters blood leukocyte expression of adhesion molecules in humans. *Environ Health Perspect*. 2006 ; 114 (1) : 51-58.
- 50 | ZAREBA W, COUDERC JP, OBERDÖRSTER G, CHALUPA D ET AL. - ECG parameters and exposure to carbon ultrafine particles in young healthy subjects. *Inhal Toxicol*. 2009 ; 21 (3) : 223-33.
- 51 | STEWART JC, CHALUPA DC, DEVLIN RB, FRASIER LM ET AL. - Vascular effects of ultrafine particles in persons with type 2 diabetes. *Environ Health Perspect*. 2010 ; 118 (12) : 1692-98.
- 52 | VORA R, ZAREBA W, UTELL MJ, PIETROPAOLI AP ET AL. - Inhalation of ultrafine carbon particles alters heart rate and heart rate variability in people with type 2 diabetes. *Part Fibre Toxicol*. 2014 ; 11 : 31.
- 53 | WITSCHGER O, LE BIHAN O, REYNIER M, DURAND C ET AL. - Préconisations en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux. Note documentaire ND 2355. *Hyg Secur Trav*. 2012 ; 226 : 41-55.
- 54 | SIMON X, BAU S, WITSCHGER O - Prélèvement des aérosols par cyclone. Version 2.0 janvier 2019. In: Guide

## Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle

### BIBLIOGRAPHIE (suite)

- méthodologique MétroPol. INRS, 2019 ([www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cyclone/metropol-prelevement-cyclone.pdf](http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cyclone/metropol-prelevement-cyclone.pdf)).
- 55 | Aérosols en fraction alvéolaire. Méthode M-278. In: MétroPol. INRS, 2016 ([www.inrs.fr/metropol/](http://www.inrs.fr/metropol/)).
- 56 | Particules émises par des moteurs diesel. Méthode M-341. In: MétroPol. INRS, 2016 ([www.inrs.fr/metropol/](http://www.inrs.fr/metropol/)).
- 57 | BIRCH ME - Occupational monitoring of particulate diesel exhaust by NIOSH method 5040. *Appl Occup Environ Hyg.* 2002 ; 17 (6) : 400-05.
- 58 | LONG CM, NASCARELLA MA, VALBERG PA - Carbon black vs. black carbon and other airborne materials containing elemental carbon: physical and chemical distinctions. *Environ Pollut.* 2013 ; 181 : 271-86.
- 59 | Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers. Current Intelligence Bulletin 65. Publication n° 2013-145. NIOSH, 2013 (<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/default.html>).
- 60 | ONO-OGASAWARA M, SERITA E, TAKAYA M - Distinguishing nanomaterial particles from background airborne particulate matter for quantitative exposure assessment. *J Nanopart Res.* 2009 ; 11 (7) : 1651-59.
- 61 | LING MP, CHIO CP, CHOU WC, CHEN WY ET AL - Assessing the potential exposure risk and control for airborne titanium dioxide and carbon black nanoparticles in the workplace. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2011 ; 18 (6) : 877-89.
- 62 | RICAUD M, CHAZELET S, BELUT E, BEMER D ET AL - Nanomatériaux. Ventilation et filtration de l'air des lieux de travail. Édition INRS ED 6181. Paris : INRS. 2014 : 23 p.
- 63 | CESARD V, BELUT E, PREVOST C, TANIÈRE A ET AL - Assessing the containment efficiency of a microbiological safety cabinet during the simultaneous generation of a nanoaerosol and a tracer gas. *Ann Occup Hyg.* 2013 ; 57 (3) : 345-59.
- 64 | Emploi de matériaux pulvérulents. 2<sup>e</sup> édition. Guide pratique de ventilation 17. Édition INRS ED 767. Paris : INRS ; 2003 : 32 p.
- 65 | LEE JH, KWON M, Ji JH, KANG CS ET AL - Exposure assessment of workplaces manufacturing nanosized TiO<sub>2</sub> and silver. *Inhal Toxicol.* 2011 ; 23 (4) : 226-36.
- 66 | HEITBRINK WA, LO LM, DUNN KH - Exposure controls for nanomaterials at three manufacturing sites. *J Occup Environ Hyg.* 2015 ; 12 (1) : 16-28.
- 67 | METHNER MM - Engineering case reports. Effectiveness of local exhaust ventilation (LEV) in controlling engineered nanomaterial emissions during reactor cleanout operations. *J Occup Environ Hyg.* 2008 ; 5 (6) : D63-9.
- 68 | GUIMON M - Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation. 5<sup>e</sup> édition. Édition INRS ED 6106. Paris : INRS ; 2019 : 64 p.
- 69 | CHAZELET S, GUIMON M - Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement. Aide-mémoire technique. Édition INRS ED 6273. Paris : INRS ; 2016 : 17 p.
- 70 | General threshold limit value for dust (R fraction). Biopersistent granular dusts. The MAK-collection for occupational health and safety. Part I: MAK value documentations. Wiley-VCH Verlag, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 2014 (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mbo23ostwe5314>).
- 71 | KUEMPEL ED, SWEENEY LM, MORRIS JB, JARABEK AM - Advances in Inhalation Dosimetry Models and Methods for Occupational Risk Assessment and Exposure Limit Derivation. *J Occup Environ Hyg.* 2015 ; 12 (Suppl 1) : S18-40.
- 72 | Occupational exposure to titanium dioxide. Current Intelligence Bulletin 63. DHHS Publication n° 2011-160. NIOSH, 2011 (<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/default.html>).
- 73 | QSARs and grouping of chemicals (Chapter R.6). Appendix R.6-1 for nanoforms applicable to the Guidance on QSARs and Grouping of Chemicals. Version 2.0. December 2019. ECHA, 2019 ([https://echa.europa.eu/documents/10162/23036412/appendix\\_r6\\_nanomaterials\\_en.pdf/71ad76fo-ab4c-fb04-acba-074cfo45eaaa](https://echa.europa.eu/documents/10162/23036412/appendix_r6_nanomaterials_en.pdf/71ad76fo-ab4c-fb04-acba-074cfo45eaaa)).
- 74 | WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials. WHO, 2017 (<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259671/9789241550048-eng.pdf>).
- 75 | Dioxyde de titane sous forme nanoparticulaire : l'Anses définit une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) pour l'exposition chronique par inhalation. ANSES, 2019 (<https://www.anses.fr/fr/content/dioxyde-de-titane-sous-forme-nanoparticulaire-l%E2%80%99anses-d%C3%A9finit-une-valeur-toxicologique-de>).
- 76 | Valeurs repères d'aide à la gestion pour les particules dans l'air intérieur. Avis et rapport du 14 juin 2013. Haut Conseil de la Santé publique (HCSP), 2013 (<https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=371>).

# Effets sur la santé des horaires longs de travail : revue de la littérature

AUTEURS :

M.A.Gautier, G.Caetano, Département Études et assistance médicales, INRS

EN  
RÉSUMÉ

La pratique des organisations en horaires atypiques au travail est de plus en plus habituelle, en particulier les horaires longs, fréquents, qui seraient à l'origine d'effets propres sur la santé. Une revue bibliographique a recensé les articles traitant des effets spécifiques de ces horaires longs, en dehors des autres effets pouvant être liés à l'exposition au travail de nuit. Deux catégories d'horaires longs sont identifiées : celle due à une organisation stricte des horaires, tels que les postes en 2x12 heures et celle correspondant à des horaires flexibles, choisis par les salariés et appelés « longs horaires de travail ». Des effets cardiovasculaires et sur la santé mentale semblent être plus souvent rencontrés chez ces salariés. Cependant, des travaux supplémentaires doivent être menés pour confirmer ces éléments, notamment en s'affranchissant du travail de nuit. Des mesures de prévention pourront alors être plus facilement dégagées et proposées pour limiter les impacts sur la santé.

## MOTS CLÉS

Horaire atypique / Horaire de travail / Organisation du travail / Affection cardiaque / Santé mentale / Appareil cardiovasculaire



© Gaël Kerbaol/INRS

**L'**organisation des horaires de travail dans les pays occidentaux répond à une norme sociale majoritairement répandue. De façon habituelle, la semaine de travail standard se déroule du lundi au vendredi pendant cinq jours consécutifs et les salariés travaillent en journée avec une pause méridienne, selon des horaires prévus à l'avance et qui ne varient pas (8 heures par jour, entre 5 et 23 heures).

Cependant, d'autres organisations horaires existent et sont de plus en plus répandues. EUROSTAT, l'organisme communautaire de statistiques, publie, depuis 2011, les pourcentages de personnes actives qui ont des horaires atypiques. En 2018, 38,1 % de la population active européenne (Europe des 15) travaillaient selon ce type d'horaires. En France, la proportion était de 35,5 % [1]. Ces horaires atypiques peuvent être définis comme toute « forme



*d'organisation du travail où le travail se fait en horaires décalés en dehors du cadre de la semaine standard* ». Le terme va donc s'appliquer à tous les aménagements du temps de travail situés en dehors de la configuration de la semaine standard. Les plus étudiés et connus sont le travail de nuit et le travail posté (incluant les nuits) dont les effets sur la santé semblent maintenant établis. De nombreuses autres organisations horaires existent, mais elles ont été moins étudiées car la méthodologie d'étude est plus compliquée à mettre en place du fait de leur multiplicité. Un article récemment publié dans la revue *Références en Santé au Travail* a pu cependant faire une synthèse de premiers résultats les concernant [2].

Une catégorie d'horaires est un peu à part : ce sont les horaires longs. En effet, ils ont été particulièrement étudiés dans certains pays, tels ceux d'Asie du Sud-Est, où ces organisations horaires sont fréquentes. La culture du travail excessif, avec des horaires de travail de plus de 45 heures par semaine chez une grande majorité de travailleurs, y est plus développée que dans les pays occidentaux. Par exemple, en 2013, 23 % des employés japonais de la classe moyenne travaillaient plus de 50 heures par semaine [1]. Ainsi, le syndrome de mort subite par surcharge de travail, ou *Karoshi*, étudié et décrit au Japon pour la première fois dans les années 1970 [3], y est fréquent. Or, ces dernières années, en Europe et en France, la pratique des horaires longs est un phénomène en constante évolution. Des travaux de recherche concernant leurs impacts spécifiques sur la santé se multiplient, que ce soit dans les pays asiatiques ou occidentaux, et des effets propres sur la santé semblent être en lien avec cette exposition.

## DÉFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS

Par convention, les horaires longs sont définis comme des horaires de travail correspondant à une durée hebdomadaire de 40 heures ou plus. En Europe, la directive 93/104/CE du 23 novembre 1993 du Conseil, modifiée par la directive 2000/34/CE du 22 juin 2000 du parlement et du Conseil, fixe « *l'aménagement du temps de travail* » et définit précisément pour tous les pays membres de l'Union européenne « *le temps de travail* », les « *périodes de repos* » et les « *périodes nocturnes* ». Ainsi, par cette directive, la durée hebdomadaire du travail est limitée à quarante-huit heures en moyenne, y compris les heures supplémentaires pour chaque période de sept jours. Cette définition sert de référence pour de nombreuses études qui cherchent à évaluer les effets sur la santé des longs horaires de travail.

Cependant, il est important de distinguer les horaires longs de travail tels que ceux pratiqués dans le travail posté en deux fois douze heures (appelés aussi « *postes longs* »), fixés dans le cadre d'une organisation stricte du temps de travail [4], des longs horaires de travail qui n'ont pas de cadre fixé, pas forcément de périodes de nuit, mais qui correspondent à des organisations horaires flexibles et liées aux habitudes et à la charge de travail des salariés qui les pratiquent. Dans l'Union européenne, la durée de travail hebdomadaire moyenne des salariés à temps complet est de 40,3 heures. En France, en 2018, elle est comprise entre 37,1 et 39,1 heures par semaine selon les études [5, 6].

En 2009, la Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques, au ministère char-

gé du Travail (DARES), a publié une étude sur les horaires atypiques et les contraintes dans le travail en mettant en évidence une typologie de groupes professionnels selon leurs horaires. Il y avait six catégories dont une pour les « *horaires normaux ou standards* » qui représentait seulement 37 % de l'ensemble des salariés. Les cinq autres catégories, soit deux salariés sur trois, correspondaient à des temps de travail « *atypiques* ». Parmi celles-ci était distinguée la catégorie de « *ceux dont les horaires sont longs, flexibles et peu contraints tels que les cadres* » et travaillant très fréquemment au-delà de leurs horaires sans que cela leur soit imposé [7] ([tableau I](#)).

Plus récemment, les premiers résultats de l'enquête SUMER 2017, publiés en septembre 2019, ont trouvé qu'environ 20 % des salariés avait travaillé plus de 40 heures la semaine précédant l'enquête et que ces salariés étaient principalement des cadres et des professions intellectuelles supérieures (43,5 %) [8]. Dans les pays d'Asie du Sud-Est, la situation est différente car cette pratique des longs horaires de travail est très répandue et certains évoquent même une « *culture des horaires excessifs* », à tel point que les pouvoirs publics au Japon, en Corée et à Taiwan, ont décidé de reconnaître en tant que maladies professionnelles les maladies cardiovasculaires en lien avec une surcharge d'heures de travail [3].

Ces horaires peuvent avoir des répercussions sur l'état de santé des salariés qui les pratiquent. Malgré cela, ils sont plébiscités par certains employeurs et salariés car ils présentent des bénéfices secondaires qui sont mis en avant et jouent un rôle primordial dans leur acceptation et leur tolérance. Ainsi, quand ces horaires relèvent d'une planification hebdomadaire du temps de travail, comme les

↓ Tableau I

➤ CONTRAINTES D'HORAIRE DES DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE SALARIÉS (en pourcentage) [7]

Catégories de salariés	“Horaires normaux”	“Horaires décalés habituels”	“Horaires décalés occasionnels”	“Horaires variables au cours de l’année”	“Horaires longs et flexibles”	“Horaires à temps partiel”	Ensemble
Durée hebdomadaire de 40 heures ou plus	21,5	29,8	26,5	22,6	74,2	1,8	25,2
Dépassements d’heures fréquents sans compensation	14,3	21,8	11,9	14,4	55,7	12,4	19,1
Reçoit des appels professionnels hors du temps de travail	8,6	12,3	14,3	3,6	31,7	11,4	12,2
Soumis à des astreintes	9,1	10,5	14,1	2,1	22,3	3,8	9,8
Emporte du travail chez soi	3,6	14,4	9,3	7,2	32,7	7,9	10,0
Commence le travail avant 7 heures	12,4	20,6	17,3	14,3	2,8	4,0	12,7
Termine le travail après 20 heures	4,5	14,1	2,4	0,9	11,3	8,0	7,2
Travaille habituellement la nuit	4,6	22,3	5,0	4,0	1,3	2,9	7,3
Travaille occasionnellement la nuit	3,8	7,9	29,3	3,2	13,6	2,8	7,9
Travaille habituellement le samedi	6,5	96,8	0,0	4,7	1,3	30,3	26,6
Travaille occasionnellement le samedi	7,6	0,3	98,6	27,7	44,4	13,8	21,4
Travaille habituellement le dimanche	0,4	48,8	0,0	2,2	0,7	12,4	11,9
Travaille occasionnellement le dimanche	2,5	13,9	59,9	8,7	24,1	10,3	14,3
Ne connaît pas ses horaires pour la semaine à venir	9,4	8,4	10,6	3,6	25,1	9,7	10,3
Horaires fixés par l’entreprise	69,6	81,5	74,7	73,1	4,4	64,0	65,4
Horaires libres	2,7	7,5	4,9	1,8	73,9	12,6	12,3
Modulation de la durée du travail	9,4	24,0	17,5	99,9	31,2	24,7	23,9
<b>ENSEMBLE</b>	<b>37,1</b>	<b>19,1</b>	<b>10,2</b>	<b>6,7</b>	<b>9,5</b>	<b>17,5</b>	<b>100,0</b>

Champ : salariés.

Lecture : 21,5 % des salariés de la catégorie « horaires normaux » ont une durée du travail supérieure à 40 heures hebdomadaires.

Source : enquête Conditions de travail 2005, INSEE-DARES.

« deux fois douze heures », le temps de travail est concentré sur seulement quelques jours, ce qui permet ensuite d’avoir plusieurs jours de repos et de gagner du temps libre, pouvant être mis à profit pour l’organisation de la vie familiale et sociale, et simplifier la gestion des contraintes de la vie quotidienne. De plus, ces postes en horaires longs peuvent présenter des avantages financiers avec des salaires plus élevés par rapport à ceux obtenus dans des postes aux horaires standards. Quand ces horaires sont pratiqués dans le cadre de « débordements » des horaires prévus par choix propres des salariés, c’est en général pour permettre une meilleure auto régulation de la charge de travail et une certaine flexibilité avec, comme argument principal,

de permettre une meilleure conciliation vie personnelle-vie professionnelle.

## REVUE DE LA LITTÉRATURE

### MÉTHODOLOGIE

Le travail de recherche bibliographique a consisté à recenser les articles traitant de l’exposition à ces horaires longs et de leurs effets sur la santé. Puis une analyse des différents documents trouvés a été réalisée pour aboutir à une synthèse de leurs résultats.

La recherche bibliographique a porté sur la littérature scientifique internationale au travers d’études expérimentales et surtout épidémiologiques, sans limitation sur

les années de publication. Les articles ont été trouvés à partir des bases de données Pubmed et INRS biblio, interrogées sur la base d’une liste de mots clés en anglais et en français. Cette liste, initialement importante, a été affinée par des mots et expressions associés, proposés dans les premiers résultats trouvés et semblant les plus pertinents. Ainsi, les termes « *overtime work* », « *long working hours* », « *long hours* », « *extended hours* », « *extended work* », ont été particulièrement retenus.

Cette première phase de recherche a ensuite été complétée à partir d’articles trouvés par une veille bibliographique réalisée dans le département Études et assistance médicales de l’INRS depuis janvier 2018, portant également sur la

## Effets sur la santé des horaires longs de travail : revue de la littérature

littérature internationale, et effectuée à partir de Pubmed essentiellement. Les derniers articles sélectionnés remontent au dernier trimestre 2019.

Les articles trouvés ont ensuite été sélectionnés à partir de leurs titres et résumés. Et, dans un second temps, les articles retenus ont été analysés et synthétisés pour être intégrés au travail de revue de la littérature.

Il a été constaté que les différents documents sélectionnés (articles scientifiques, rapports d'expertises, revues de la littérature) souffraient fréquemment d'une faiblesse méthodologique quant à la caractérisation de l'exposition à ces horaires longs. En effet, dans la grande majorité des études, seule la durée du temps de travail hebdomadaire est précisée et les caractéristiques de ce temps de travail (en particulier la présence de travail de nuit, de travail décalé...) ne sont pas définies. De plus, de nombreux effets ou impacts sont parfois recherchés, sans structuration logique, et la présence de biais ne peut être totalement exclue.

### RÉSULTATS : LES EFFETS SUR LA SANTÉ

#### GÉNÉRALITÉS

À la fin des années 1990 était proposé un projet de publication d'une directive européenne sur la limitation du temps de travail. Certains partis politiques et des dirigeants de pays y étaient opposés en arguant de son inutilité. Des chercheurs ont alors réalisé et publié une revue de la littérature relative aux effets sur la santé des horaires longs pour démontrer que cette limitation était fondée. Le travail réalisé a mis en évidence qu'il existait des effets sur la santé liés au travail en horaires longs, en particulier cardiovasculaires et

psychiques, mais que des études complémentaires devaient être réalisées pour caractériser les risques de cette exposition. En effet, peu d'études spécifiques portaient sur ces horaires alors que celles sur le travail de nuit et le travail posté étaient nombreuses [9].

*A contrario*, dans les pays d'Asie du Sud-Est, ces horaires longs et leurs effets étaient étudiés depuis plusieurs années. En effet, cette organisation horaire y est très fréquente et est suspectée être à l'origine de *Karoshi*. Ce syndrome se traduit par des morts subites pour lesquelles des études ont montré que plus de 60 % étaient dues à des accidents vasculaires cérébraux (AVC) (hémorragies subarachnoïdiennes et intracérébrales, infarctus intracérébraux) et que seulement 10 % étaient provoquées par des infarctus du myocarde [10, 11].

Plus récemment, les recherches bibliographiques montrent que le travail en horaires longs semblerait être à l'origine d'autres effets sur la santé : des troubles psychiques surtout, mais ils pourraient aussi favoriser les addictions, d'autres altérations de l'état de santé général, voire des anomalies lors de la grossesse.

#### DES EFFETS CARDIOVASCULAIRES CONNUS DEPUIS PLUSIEURS DÉCENNIES

Comme déjà évoqué précédemment, il semblerait que les horaires longs aient un impact sur le système cardiovasculaire. Ces effets sont étudiés depuis une quarantaine d'années en Asie du Sud-Est et des travaux scientifiques se poursuivent à la recherche de liens entre ces horaires longs, les effets cardiovasculaires et également certains facteurs de risque spécifiques. C'est ainsi que les relations entre la présence d'un syndrome métabolique et la pratique de longues

heures de travail ont été étudiées. Au Japon, en 2009, une étude a été réalisée dans une population d'ouvriers afin de rechercher une association entre le fait de travailler plus de 10 heures par jour et d'avoir un syndrome métabolique. Neuf cents trente-trois ouvriers de sexe masculin ont répondu à un questionnaire et ont eu un bilan de santé pour dépister un syndrome métabolique. Les résultats ont mis en évidence une augmentation du risque de syndrome métabolique (odds ratio [OR] : 2,32) chez ceux travaillant plus de 10 heures par jour (même quand ils n'étaient pas en travail posté en équipe). Ce résultat était augmenté (OR : 3,14) quand ils avaient plus de 40 ans [12]. Cependant d'autres travaux viennent modérer ces résultats. En Corée, la recherche de liens entre la présence de syndrome métabolique et l'exposition à différents emplois du temps en horaires postés (horaires de journée, 3\*8 et 2\*12) a montré que les salariés travaillant en deux fois douze heures, donc également la nuit, avaient aussi plus fréquemment un syndrome métabolique. L'attribution de la causalité du syndrome métabolique au travail en horaires longs plutôt qu'au travail de nuit y est donc moins évidente [13]. En Espagne, une étude de cohorte réalisée sur une population d'universitaires suivie pendant 8 ans environ, n'a pas pu mettre en évidence de relation entre le syndrome métabolique et le fait de travailler plus de 40 heures par semaine [14]. Au regard de ces controverses, une méta-analyse, réalisée récemment en 2019, à partir de 259 articles, a montré que le fait de travailler de longues heures était corrélé de façon significative et proportionnelle avec l'augmentation de l'indice de masse corporelle [15]. D'autres études ont également cherché à mettre en évidence le

lien entre le travail en horaires longs et le risque de maladie coronarienne, d'incident coronarien et d'AVC. Les différents résultats semblent aller dans le même sens qu'au Japon pour le *Karoshi*, à savoir que le risque d'AVC semble être plus important. Concernant la maladie coronarienne, en 2012, une revue de la littérature et méta-analyse de grande portée a mis en évidence, avec un niveau de preuve élevé, une association entre de longues heures de travail et la maladie coronarienne. Cette revue, réalisée à partir de 12 études sélectionnées pour leurs qualités scientifiques et portant sur 22 518 participants, a montré que le risque de maladie coronarienne était augmenté d'environ 40 % chez les salariés exposés aux horaires longs [16]. Mais cette même équipe suédoise a publié quelques années plus tard une nouvelle revue de la littérature mettant en évidence cette fois-ci un lien plus modéré entre l'existence de maladie coronarienne (risque relatif [RR] : 1,12), d'AVC (RR : 1,21) et le travail en horaires longs de plus de 55 heures par semaine. Les mécanismes en cause étudiés suggèrent une instabilité électrique cardiaque et une hypercoagulation sanguine. Cependant, la force des liens statistiques étant faible et l'existence de facteurs de confusion non nulle, ces mêmes auteurs suggèrent de réaliser des recherches supplémentaires pour déterminer la part attribuable aux facteurs individuels tels que la sensibilité au stress, la présence d'athérosclérose ou encore des anomalies du contrôle glycémique [17]. Un autre travail de grande ampleur, réalisé en collaboration avec plusieurs équipes de recherche européennes, australiennes et nord-américaines, à partir de 25 études provenant de 24 cohortes, a été réalisé pour quantifier les risques d'in-

cident coronarien et d'AVC chez les personnes travaillant en horaires longs. Les résultats statistiques ont mis en évidence un surcroît de risque d'AVC pour les salariés qui avaient de longues journées de travail (RR : 1,10 pour des horaires hebdomadaires compris entre 41 et 48 heures, RR : 1,27 pour des semaines entre 49 et 54 heures et 1,33 pour des semaines travaillées plus de 55 heures). Cependant, le risque d'incident coronarien était estimé comme plus modéré (1,13 pour des semaines de plus de 55 heures travaillées) [18]. Enfin, très récemment, une étude européenne réalisée à partir de la cohorte française Constances a cherché à évaluer ce même lien entre les horaires longs de travail et la survenue d'AVC. Les horaires longs y étaient définis à partir de durée journalière de plus de 10 heures et ce plus de 50 jours par an. Les résultats ont mis en évidence un surcroît de risque d'AVC lorsque le temps d'exposition des salariés à ces horaires dépassait 10 ans [19]. D'autres travaux minimisent ces résultats. En 2013, une étude a comparé deux groupes de travailleurs coréens en cherchant le « sur-risque » d'incidents cardiovasculaires selon la durée hebdomadaire de travail pratiquée la semaine précédente ou les 3 mois antérieurs. Le risque, à court ou long terme, était plus élevé dans le groupe de ceux ayant travaillé plus de 60 heures ; il l'était également pour ceux travaillant selon des horaires considérés comme normaux (moins de 40 heures par semaine) [20]. Une autre enquête, au Danemark, a cherché à établir un lien entre la présence d'une pathologie ischémique cardiaque, la prise de traitement antihypertenseur et la pratique d'horaires de travail longs sur la semaine dans une cohorte de 145 861 travailleurs. Là encore, au-

cun lien significatif n'a pu être mis en évidence, que ce soit entre une pathologie ischémique et le travail en horaires longs ou la prise de traitement hypotenseur et le travail en horaires longs [21].

Pour élargir les connaissances, des enquêtes ont étudié d'autres pathologies pouvant être en lien avec l'exposition à des horaires longs. Ainsi, une importante revue de la littérature réalisée en 2014 a cherché l'association entre l'exposition à de longs horaires de travail, définis comme plus de 8 heures par jour ou 40 heures par semaine, et l'existence de plusieurs effets sur la santé (maladies de l'appareil circulatoire, diabète, syndrome métabolique, syndrome dépressif, anxiété, troubles psychologiques, sommeil, fonctions cognitives, bon état général). L'originalité de cette étude était de préciser n'avoir sélectionné que des études où l'exposition au travail de nuit avait été exclue (ce qui n'est pas fréquent). Après analyse, les auteurs ont conclu que l'exposition à ces horaires longs représentait un risque accru d'avoir un état dépressif, de l'anxiété, des difficultés de sommeil et des maladies coronariennes [22].

Une autre approche du problème a consisté à caractériser les expositions et à rechercher les cumuls de facteurs de risque. Ces derniers comprenaient l'exposition à des horaires de plus de 50 heures par semaine, à des facteurs de risque cardiovasculaires tels que l'inactivité physique, le tabagisme, la privation de sommeil (moins de 5 heures par jour), le surpoids et/ou l'obésité, le stress et la consommation excessive d'alcool. C'est surtout l'association de la pratique d'horaires longs avec le stress et la privation de sommeil qui a été mise en évidence comme facteurs de risque cardiovasculaire [23]. Le niveau de revenu et la pratique d'horaires longs comme

## Effets sur la santé des horaires longs de travail : revue de la littérature

facteurs de risque cumulés ont également été étudiés. Dans une cohorte coréenne de 11 602 individus pour laquelle les données ont été recueillies durant 9 ans (2007-2016), il a été mis en évidence une augmentation de 4,1 % du risque cardiovasculaire pour les personnes qui travaillaient quotidiennement 10 heures ou plus et dont le revenu était élevé. Ce surcroît de risque n'était pas retrouvé chez les personnes travaillant autant mais avec un revenu plus faible. Ces résultats ont permis aux auteurs de conclure que l'effet du niveau de revenu sur le risque cardiovasculaire, et ce qu'il implique probablement au niveau psychosocial, était plus important que l'exposition à des horaires longs [24]. Le travail en horaires longs pourrait également affecter les recours et les accès aux soins, ainsi que l'état de santé général. Une équipe de chercheurs coréens a mis en évidence que le fait de travailler plus de 60 heures par semaine pour des salariés âgés de 20 à 54 ans était à l'origine d'accès aux soins non satisfaisants et pouvait donc être préjudiciable à leur santé [25]. Toujours en Corée, une analyse des données de santé auto-déclarées de travailleurs âgés de 25 à 64 ans, selon leur temps de travail hebdomadaire, a mis en évidence un sur-risque « *d'état de santé altéré* » chez les salariés qui travaillaient plus de 60 heures par semaine [26].

Ces derniers résultats montrent que les effets sur la santé mentale et psychique de ces horaires sont fréquemment rencontrés et d'importance.

### EFFETS PSYCHIQUES, PSYCHOLOGIQUES ET ADDICTIONS

Dans les enquêtes ou études portant sur les horaires longs, les effets sur la santé mentale et les troubles psychiques sont fréquemment retrouvés.

Ainsi, la recherche d'un impact sur la santé mentale de la pratique d'horaires longs a été fréquemment investiguée. C'est le cas de l'étude australienne réalisée entre 2001 et 2012 au sein de la cohorte HILDA (*Household, Income and Labour Dynamics in Australia*, soit Ménages, revenus et dynamiques de travail en Australie). Cette cohorte est constituée d'une population de « ménages » australiens. Chaque année, ont été recueillies des données sur leur bien-être économique et social, et sur leur vécu professionnel et familial. Les questions posées portaient sur la durée des horaires de travail et distinguaient 5 catégories de salariés selon qu'ils travaillaient moins de 34 heures par semaine, entre 35 et 40 heures, entre 41 et 48 heures, entre 49 et 59 heures et plus de 60 heures hebdomadaires. Les personnes répondaient également à un questionnaire SF-36 (*The Short Form (36) Health Survey*, Questionnaire court d'étude de la santé perçue) qui est un questionnaire standardisé de mesure de l'état de santé global. Les résultats étaient rapportés au temps travaillé et comparés à ceux obtenus par des salariés qui travaillaient une durée considérée comme référente (35 à 40 heures par semaine). Le statut du contrat de travail, le niveau de compétences, le genre et l'âge des participants étaient également pris en compte. Les résultats de cette étude ont montré que les groupes ayant les horaires hebdomadaires les plus longs (49 à 59 heures et plus de 60 heures par semaine) avaient une santé mentale évaluée comme mauvaise au questionnaire SF-36, surtout chez les femmes qui travaillaient entre 49 et 59 heures par semaine. Cette altération de l'état de santé mentale était également plus marquée quand le niveau de qualification était élevé [27].

D'autres auteurs ont recherché la présence de symptômes de fatigue chronique. En Corée, chez 238 opérateurs masculins de trois entreprises du secteur de l'électronique, les salariés ont été interrogés à partir d'auto-questionnaires portant sur leurs horaires de travail (moins de 60 heures, entre 60 et 70 heures et plus de 70 heures par semaine), leur état de santé (heures de sommeil, pratique d'exercice physique, consommation d'alcool, antécédents et problèmes médicaux, prise de médicaments), leur fatigue subjective (sommolence et léthargie, difficultés de concentration...) et leur stress professionnel. Les résultats les plus significatifs ont trouvé que la fatigue chronique était plus fréquente quand les horaires de travail étaient longs (60 heures et entre 60 et 70 heures par semaine) et que l'auto-questionnaire peut permettre la détection précoce de la fatigue chronique lors de la pratique d'horaires longs [28].

De plus, la somnolence semble être rencontrée chez les personnes qui ont de longs horaires de travail. Une étude réalisée récemment aux États-Unis a mis en évidence de fortes altérations des résultats de l'échelle d'Epworth (qui évalue la somnolence) chez des sages-femmes travaillant plus de 12 heures par 24 heures. Les auteurs rapportent ce résultat principalement à la durée du poste, mais ne précisent pas la temporalité des postes (de nuit, de jour ou les deux) [29].

Les horaires longs peuvent être également incriminés dans la survenue d'accidents, et en particulier d'accidents de travail, du fait de la fatigue et des troubles cognitifs qu'ils semblent pouvoir engendrer. Une étude cas-témoin réalisée en milieu hospitalier en Égypte a recherché le sur-risque de piqûres accidentelles avec une aiguille chez le personnel soignant, en lien avec

certaines pratiques ou conditions de travail. Plusieurs facteurs de risques sont significatifs, parmi lesquels la pratique d'horaires longs (entre 8 et 12 heures et plus de 12 heures travaillées par jour) (OR : 2,28) [30].

L'anxiété et la dépression semblent également être des symptômes et troubles psychiques fréquemment retrouvés chez les personnes travaillant de longues heures. Une méta-analyse et une revue de la littérature réalisées à partir d'études portant sur des travailleurs adultes, exposés à de longs horaires de travail et souffrant de symptômes dépressifs diagnostiqués, ont cherché à mettre en évidence ce lien. Les résultats n'ont pas été significatifs, bien qu'ils aient montré que les travailleurs ayant des horaires dépassant 50 heures par semaine avaient une tendance aux troubles dépressifs, d'autant plus chez les femmes [31]. D'autres travaux ont des résultats plus concluants. Ainsi, en Grande-Bretagne, les effets des horaires longs ont été étudiés dans une population d'officiers de police. Ces agents ont été soumis à des questionnaires à la recherche de troubles mentaux et de signes d'épuisement professionnel (*General Health Questionnaire* GHQ-12, soit Questionnaire de santé général, et *Maslach Burnout Inventory* ou MBI, soit Inventaire de *burnout* de Maslach). Les résultats ont mis en évidence que 27 % des 1 226 répondants travaillaient plus de 49 heures par semaine de façon habituelle et que ces derniers avaient des scores statistiquement significatifs entre leurs horaires longs et la présence de détresse psychologique, d'un épuisement émotionnel et de dépersonnalisation [32]. Toujours en Grande-Bretagne, un travail épidémiologique a évalué le lien entre la présence de symptômes d'anxiété et de dépression

et la pratique de longs horaires de travail chez des salariés employés de maison. En 2001, puis en 2002 et 2004, 2 960 employés à temps plein ont été suivis en comparant la présence de symptômes psychiques selon la durée hebdomadaire du travail (35-40 heures par semaine et plus de 55 heures par semaine). Les employés de maison travaillant plus de 55 heures par semaine avaient de façon significative un risque plus élevé de développer des symptômes dépressifs et anxieux et ce, d'autant plus que ce sont des femmes [33]. Au Japon, c'est un échantillon de 1 241 médecins résidents hospitaliers qui a également été étudié. Ces derniers ont été suivis trois mois au début de leur exercice et trois mois plus tard. Les données recueillies concernaient leur durée de travail hebdomadaire, de sommeil, leur temps libre, le travail de nuit et leurs symptômes dépressifs (avec le questionnaire utilisé par le *Center for Epidemiologic Studies - Depression Scale* pour Centre d'études épidémiologiques - Échelle de dépression). Les résultats ont montré que le temps de travail moyen était de 79,4 heures par semaine et que 7,8 % travaillaient plus de 100 heures par semaine. Les médecins résidents travaillant entre 80 et 99,9 heures par semaine, ainsi que ceux travaillant 100 heures ou plus, avaient un risque élevé et proportionnel de développer une dépression, comparés à ceux travaillant moins de 60 heures par semaine [34]. Dans une population d'enseignants japonais, le lien entre la présence de symptômes dépressifs et la pratique de longs horaires de travail (plus de 50 heures par semaine) a également été mis en évidence et, cette fois-ci, surtout chez les hommes [35].

La pratique d'horaires longs pourrait également être responsable d'une augmentation de la consom-

mation d'alcool. Une méta-analyse réalisée en 2014 a étudié cette relation à partir de 61 études cas-témoins réalisées dans 14 pays (33 693 participants) et 20 études de cohorte provenant de 9 pays (100 602 participants). Les longs horaires de travail étaient définis comme ceux dépassant les 48 heures hebdomadaires. Les résultats ont mis en évidence un surcroît de risque de consommation d'alcool chez les personnes travaillant entre 49 et 55 heures par semaine et ceux qui travaillaient plus de 55 heures. Il n'a pas été mis en évidence de différences entre les sexes [36].

Enfin, les horaires longs et les revenus pourraient être incriminés dans le suicide d'adultes masculins au Japon. En effet, devant le nombre important de suicides dans ce pays, une étude à grande échelle y a été réalisée pour rechercher quels pouvaient être les facteurs de risques associés au passage à l'acte suicidaire. D'après les auteurs, la pratique d'horaires longs de travail semblerait être un facteur de risque de suicide plus important que d'autres, tels que le faible niveau de salaire, le manque d'activités de loisirs et l'absence de *hobbies* [37].

#### AUTRES EFFETS

Un lien entre des douleurs chroniques de l'appareil locomoteur et le fait de travailler plus de 9 heures par jour a été évoqué. C'est ce qu'a démontré une étude réalisée dans une population de travailleurs japonais, où ceux travaillant plus de 9 heures par jour avaient plus de risque d'avoir des douleurs musculosquelettiques chroniques. Ce risque était atténué quand leur quantité de sommeil journalier dépassait les 7 heures [38].

Au niveau gynécologique, les horaires longs pourraient avoir éga-

lement des effets sur la grossesse et son déroulement. Quelques travaux ont étudié ce risque. Aux États-Unis, une méta-analyse et une revue de la littérature récentes ont cherché à mettre en évidence les impacts que pouvaient avoir respectivement le travail en horaires postés ou en nuits fixes ou en horaires longs sur le déroulement de la grossesse de salariées exposées, comparativement à des femmes enceintes travaillant selon des horaires dits « normaux ». Les femmes qui travaillaient plus de 40 heures par semaine avaient un risque significatif de fausse couche, d'accouchement prématuré, d'avoir un enfant de bas poids de naissance ou hypotrophique. Les résultats montraient également que le risque d'accouchement prématuré était accru de 10 % quand le temps de travail hebdomadaire dépassait 55 heures [39]. Les horaires de travail pourraient aussi être à l'origine de cycles menstruels irréguliers. En Corée, des liens entre les caractéristiques du travail (la classification professionnelle, le nombre d'heures travaillées, l'existence de travail posté) et des cycles menstruels irréguliers ont été recherchés, et le fait de travailler plus de 60 heures par semaine semble être un des facteurs de risque significatif d'avoir des cycles menstruels irréguliers [40].

## SYNTHÈSE

Les organisations de travail en horaires atypiques sont de plus en plus fréquentes dans le monde du travail, dans tous les secteurs d'activité. Les raisons de leur mise en place sont plurifactorielles et semblent répondre à des motivations variées : économiques en lien

avec les performances des entreprises, pour permettre une meilleure adaptation aux contraintes horaires liées à l'activité, ou encore pour répondre à une demande de flexibilité et à un désir de conciliation vie personnelle-vie professionnelle de la part des salariés.

Parmi ces horaires atypiques, on distingue les « horaires longs » qui sont, par convention, caractérisés par une durée hebdomadaire de travail de 40 heures ou plus (et limités à 48 heures en moyenne sur 7 jours par les directives européennes). Ces horaires longs sont étudiés depuis plusieurs décennies en Asie du Sud-Est car ils y sont très répandus pour des raisons socioculturelles. Ils commencent à l'être également dans les pays occidentaux du fait de leur expansion. On distingue deux grandes typologies :

- les « deux fois douze heures » appelés aussi « postes longs » qui correspondent à des postes de jour et de nuit d'une durée de douze heures, et qui sont fixés par une organisation stricte du temps de travail. Ils sont imposés par l'organisation du travail ;
- les « longs horaires de travail » qui n'ont pas de cadre fixé, mais qui sont des horaires flexibles liés aux habitudes et à la charge de travail des salariés. C'est le cas des cadres qui les choisissent et les pratiquent sans que cela leur soit imposé de façon formelle, afin de gérer une meilleure conciliation entre leur vie personnelle et professionnelle mais peut-être aussi pour « absorber » leur surcharge de travail éventuelle [7]. La pratique de longs horaires par pluriactivité professionnelle peut également se concevoir dans ce groupe. En effet, les personnes qui cumulent plusieurs travaux à temps partiels, ou plusieurs activités profession-

nelles, peuvent rapidement avoir des temps de travail journaliers qui dépassent les 10 heures.

Historiquement, les effets sur la santé des horaires longs ont été étudiés en Asie du Sud-Est et ce, devant l'existence de syndromes de mort subite par surcharge de travail liés à la culture du travail excessif avec la pratique d'horaires de plus de 45 heures par semaine [3]. Dans les pays occidentaux, et en particulier dans les pays scandinaves, avec l'extension du travail flexible, les recherches portant sur leurs impacts sanitaires se sont également développées. Mais ces travaux se sont avérés compliqués à réaliser, et, en particulier, la caractérisation de l'exposition à des horaires longs s'est avérée difficile. En effet, que ce soit au sein de la population générale ou de populations de travailleurs choisies pour les études, les organisations horaires en place sont souvent multiples et difficiles à répertorier. En particulier, les études recherchent très souvent l'exposition des salariés à des longs horaires hebdomadaires, sans préciser s'il s'agit de travail de journée, de travail de nuit ou les deux. Or la présence de travail de nuit est problématique car elle peut influencer les résultats trouvés par ses effets propres sur l'horloge biologique et le rythme circadien. Cependant, et malgré ces difficultés, des travaux scientifiques sont de plus en plus nombreux pour essayer de mettre en évidence les effets sur la santé pouvant être attribués au travail en horaires longs. Les effets cardiovasculaires semblent maintenant bien établis avec le *Karoshi*, l'accroissement du risque de maladie ischémique cardiovasculaire, et aussi la suspicion de perturbations métaboliques rencontrées plus fréquemment. D'autres groupes de maladies

semblent être liés à l'exposition à ces horaires. Les troubles psychiques tels que la dépression, l'anxiété sont fréquemment retrouvés dans les études. Les problèmes de sommeil, de somnolence ou encore d'addictions pourraient être en rapport avec la pratique de ces horaires longs. Quelques études retrouvent de façon plus ponctuelle des éléments en faveur de douleurs chroniques de l'appareil locomoteur ou des répercussions

gynécologiques qui pourraient être rapportées également à la pratique de longues journées de travail.

La question se pose donc d'un risque spécifique lié à cette surcharge d'heures travaillées, qui pourrait, selon les contextes de travail et les postes, se cumuler à d'autres risques tels que ceux provoqués par le travail de nuit, entre autres.

Dans une grande majorité des études recensées dans cet article,

les auteurs concluent sur la nécessité de poursuivre les recherches sur ces horaires longs et leurs impacts sur la santé en les caractérisant mieux afin de mettre en évidence leurs effets propres en dehors de toute autre exposition horaire, et en particulier de celle liée au travail de nuit. Le but recherché est en priorité de pouvoir dégager des pistes de prévention au niveau de l'organisation du travail.

## POINTS À RETENIR

- Les organisations de travail en horaires atypiques sont de plus en plus fréquentes.
- Parmi ces derniers, on distingue les « horaires longs », par convention, caractérisés par une durée hebdomadaire de travail de 40 heures ou plus.
- Parmi les horaires longs, les « postes longs » sont imposés par l'organisation du travail et correspondent à des postes de jour et de nuit d'une durée de douze heures ; les « longs horaires de travail » sont des horaires flexibles choisis par les salariés.
- Les effets cardiovasculaires des horaires longs sont connus depuis plusieurs années ; d'autres effets sur la santé sont en cours de caractérisation.
- Le travail de recherche doit se poursuivre afin de mieux caractériser l'exposition et évaluer les effets du travail lors d'une exposition aux seuls horaires longs, sans exposition au travail de nuit.
- Des conseils de prévention sur l'organisation du travail en horaires longs pourront alors être proposés et mis en pratique pour limiter leurs impacts sur la santé.

## BIBLIOGRAPHIE

1 | Employment at atypical working time as a percentage of the total employment, by age and European socio-economic group. Eurostat, 2019 ([http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/lfsa\\_esegatyp](http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/lfsa_esegatyp)).

2 | WEIBEL L, CAETANO G - Horaires atypiques de travail (hors travail de nuit) : quels effets sur la santé et la sécurité au travail ? Grand angle TC 166. *Réf Santé Trav.* 2019 ; 159 : 19-32.

3 | EGUCHI H, WADA K, SMITH DR - Recognition, Compensation, and Prevention of Karoshi, or Death due to Overwork. *J Occup Environ Med.* 2016 ; 58 (8) : e313-14.

4 | WEIBEL L, HERBRECHT D, IMBODEN D, JUNKER-MOIS L ET AL. - Organisation du travail en 2 x 12 h : les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs. Mise au point TP 18. *Réf Santé Trav.* 2014 ; 137 : 143-49.

5 | Activité, emploi et chômage

en 2018 et en séries longues. Enquête emploi en continu. INSEE Résultats. INSEE, 2019 (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/3900836>).

6 | LÉTROUBLON C ET ZILLONIZ S - Comparaisons européennes des durées du travail : illustrations pour huit pays. Document d'études. DARES. 2018 ; 220 : 36 p.

7 | BUÉ J, COUTROT T - Horaires atypiques et contraintes dans le travail : une typologie en six catégories. *Prem Inf. Prem Synth.*

2009 ; 22.2 : 1-7.

8 | MEMMI S, ROSANKIS E, SANDRET N, DUPRAT P ET AL. - Premiers résultats de l'enquête SUMER 2017 : comment ont évolué les expositions des salariés aux risques professionnels sur les vingt dernières années ? Vu du terrain TF 273. *Réf Santé Trav.* 2019 ; 159 : 53-78.

9 | SPURGEON A, HARRINGTON JM, COOPER CL - Health and safety problems associated with long





## BIBLIOGRAPHIE (suite)

- working hours: a review of the current position. *Occup Environ Med.* 1997; 54 (6) : 367-75.
- 10 | NISHIYAMA K, JOHNSON JV - Karoshi-death from overwork: occupational health consequences of Japanese production management. *Int J Health Serv.* 1997; 27 (4) : 625-41.
- 11 | IWASAKI K, TAKAHASHI M, NAKATA A - Health problems due to long working hours in Japan: working hours, workers' compensation (Karoshi), and preventive measures. *Ind Health.* 2006; 44 (4) : 537-40.
- 12 | KOBAYASHI T, SUZUKI E, TAKAO S, DOI H - Long working hours and metabolic syndrome among Japanese men: a cross-sectional study. *BMC Public Health.* 2012; 12 : 395.
- 13 | OH JI, YIM HW - Association between rotating night shift work and metabolic syndrome in Korean workers: differences between 8-hour and 12-hour rotating shift work. *Ind Health.* 2018; 56 (1) : 40-8.
- 14 | PIMENTA AM, BES-RASTROLLO M, SAYON-OREA C, GEA A ET AL - Working hours and incidence of metabolic syndrome and its components in a Mediterranean cohort: the SUN project. *Eur J Public Health.* 2015; 25 (4) : 683-88.
- 15 | ZHU Y, LIU J, JIANG H, BROWN TJ ET AL - Are long working hours associated with weigh-related outcomes? A meta-analysis of observational studies. *Obes Rev.* 2020; 21 (3) : e12977.
- 16 | VIRTANEN M, HEIKKILÄ K, JOKELA M, FERRIE JE ET AL - Long working hours and coronary heart disease: a systematic review and meta-analysis. *Am J Epidemiol.* 2012; 176 (7) : 586-96.
- 17 | VIRTANEN M, KIVIMÄKI M - Long Working Hours and Risk of Cardiovascular Disease. *Curr Cardiol Rep.* 2018; 20 (11) : 123.
- 18 | KIVIMÄKI M, JOKELA M, NYBERG ST, SINGH-MANOUX A ET AL - Long working hours and risk of coronary heart disease and stroke: a systematic review and meta-analysis of published and unpublished data for 603 838 individuals. *Lancet.* 2015; 386 (10005) : 1739-46.
- 19 | FADEL M, SEMBAJWE G, GAGLIARDI D, PICO F ET AL - Association Between Reported Long Working Hours and History of Stroke in the CONSTANCES Cohort. *Stroke.* 2019; 50 (7) : 1879-82.
- 20 | Jeong I, Rhie J, Kim I, Ryu I et al - Working hours and cardiovascular disease in Korean workers: a case-control study. *J Occup Health.* 2014; 55 (5) : 385-91.
- 21 | HANNERZ H, LARSEN AD, GARDE AH - Long weekly working hours and ischaemic heart disease: a follow-up study among 145 861 randomly selected workers in Denmark. *BMJ Open.* 2018; 8 (6) : e019807.
- 22 | BANNAI A, TAMAKOSHI A - The association between long working hours and health: a systematic review of epidemiological evidence. *Scand J Work Environ Health.* 2014; 40 (1) : 5-18.
- 23 | TSUBOYA T, AIDA J, OSAKA K, KAWACHI I - Working overtime and risk factors for coronary heart disease: a propensity score analysis based in the J-SHINE (Japanese Study of Stratification, Health, Income, and Neighborhood) study. *Am J Ind Med.* 2015; 58 (2) : 229-37.
- 24 | LEE DW, KIM HR, MYONG JP, CHOI J ET AL - Does working long hours increase the risk of cardiovascular disease for everyone? *J Occup Health.* 2019; 61 (6) : 431-41.
- 25 | SOEK H, WON JU, LEE TI, KIM YK ET AL - A dose-response relationship between long working hours and unmet need for access to hospital facilities. *Scand J Work Environ Health.* 2016; 42 (2) : 135-43.
- 26 | SONG JT, LEE G, KWON J, PARK JW ET AL - The Association between Long Working Hours and Self-rated Health. *Ann Occup Environ Med.* 2014; 26 (1) : 2.
- 27 | MILNER A, SMITH P, LAMONTAGNE AD - Working hours and mental health in Australia: evidence from an Australian population-based cohort, 2001-2012. *Occup Environ Med.* 2015; 72 (8) : 573-79.
- 28 | PARK J, KIM Y, CHUNG HK, HISANAGA N - Long working hours and subjective fatigue symptoms. *Ind Health.* 2001; 39 (3) : 250-54.
- 29 | ARBOUR M, TANNER T, HENSLEY J, BEARDSLEY J ET AL - Factors That Contribute to Excessive Sleepiness in Midwives Practicing in the United States. *J Midwifery Womens Health.* 2019; 64 (2) : 179-85.
- 30 | GABR HM, EL-BADRY AS, YOUNIS FE - Risk Factors Associated with Needlestick Injuries among Health Care Workers in Menoufia Governorate, Egypt. *Int J Occup Environ Med.* 2018; 9 (2) : 63-68.
- 31 | WANATABE K, IMAMURA K, KAWAKAMI N - Working hours and the onset of depressive disorder: a systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med.* 2016; 73 (12) : 877-84.
- 32 | HOUDMONT J, RANDALL R - Working hours and common mental disorders in English police officers. *Occup Med (Lond).* 2016; 66 (9) : 713-18.
- 33 | VIRTANEN M, FERRIE JE, SINGH-MANOUX A, SHIPLEY MJ ET AL - Long working hours and symptoms of anxiety and depression: a 5-year follow-up of the Whitehall II study. *Psychol Med.* 2011; 41 (12) : 2485-94.
- 34 | OGAWA R, SEO E, MAENO T, ITO M ET AL - The relationship between long working hours and depression among first-year residents in Japan. *BMC Med Educ.* 2018; 18 (1) : 50.
- 35 | BANNAI A, UKAWA S, TAMAKOSHI A - Long working hours and psychological distress among school teachers in Japan. *J Occup Health.* 2015; 57 (1) : 20-27.
- 36 | VIRTANEN M, JOKELA M, NYBERG ST, MADSEN IE ET AL - Long working hours and alcohol use: systematic review and meta-analysis of published studies and unpublished individual participant data. *BMJ.* 2015; 350 : g7772.
- 37 | TAKEUCHI A, SAKANO N, MIYATAKE N - Combined effects of working hours, income, and leisure time on suicide in all 47 prefectures of Japan. *Ind Health.* 2014; 52 (2) : 137-40.
- 38 | ANDO H, IKEGAMI K, SUGANO R, NOZAWA H ET AL - Relationships Between Chronic Musculoskeletal Pain and Working Hours and Sleeping Hours: A Cross-sectional Study. *J UOEH.* 2019; 41 (1) : 25-33.
- 39 | CAI C, VANDERMEER B, KHURANA R, NERENBERG K ET AL - The impact of occupational shift work and working hours during pregnancy on health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Am J Obstet Gynecol.* 2019; 221 (6) : 563-76.
- 40 | OK G, AHN J, LEE W - Association between irregular menstrual cycles and occupational characteristics among female workers in Korea. *Maturitas.* 2019; 129 : 62-67.

# Évaluation de l'impact psychologique du télétravail

## AUTEURS :

J.H. Planchard, Z. Velagic, Centre hospitalier universitaire (CHU), Nice

## EN RÉSUMÉ

Le service de Médecine et santé au travail du Centre hospitalier universitaire de Nice a conduit une étude qualitative sur les effets du télétravail auprès de dix agents après six mois d'expérimentation. Ont été retrouvées une amélioration de la qualité de vie et la diminution de la sensation de stress. Cependant, une augmentation du temps de travail et une dégradation des relations avec le collectif de travail ont conduit à proposer une stratégie de prévention spécifique pour ces travailleurs : adaptation du suivi médical avec guide d'entretien spécifique et élaboration de deux supports destinés aux agents télétravailleurs et à leurs collègues.

## MOTS CLÉS

Conditions de travail / Organisation du travail / Risque psychosocial / RPS / Surveillance médicale / Suivi médical

**L**e télétravail est défini dans l'article L. 1222-9 du Code du travail comme « *toute forme d'organisation du travail dans laquelle un travail qui aurait également pu être exécuté dans les locaux de l'employeur est effectué par un salarié hors de ces locaux de façon volontaire en utilisant les technologies de l'information et de la communication* » (TIC). En France, faisant suite à l'accord cadre européen de 2002 et à l'accord national interprofessionnel de 2005, le régime juridique du télétravail est inscrit dans le Code du travail depuis 2012 et le statut et les droits du télétravailleur ainsi que les conditions de mise en place du télétravail dans un établissement y sont définis. Dans le secteur public, la loi dite « Sauvadet » de 2012 et le décret du 11 février 2016 relatif aux conditions et modalités de mise en œuvre du télétravail dans la fonction publique et la magistrature fixent le cadre de la mise en place de cette forme d'organisation, notamment pour la Fonction publique hospitalière (FPH).

Dans ce contexte, le service Qualité de vie au travail (QVT) de la direction des ressources humaines du Centre hospitalier universitaire (CHU) de Nice a créé, en avril 2017 et en collaboration avec le service autonome de Médecine et santé au travail (MeST), un groupe de travail sur cette thématique. Dans le cadre d'une démarche participative, environ 30 salariés se sont réunis sept fois entre le 23 mai 2017 et le 2 juillet 2018 afin de le mettre en place au sein de l'établissement. Avant le déploiement général prévu en 2019, une phase d'expérimentation, proposée uniquement aux agents ayant participé au groupe de travail, a été conduite pour ajuster leurs propositions.

Les effets possibles du télétravail en termes d'activité réelle de travail et de santé sont peu connus. Il est légitime de supposer qu'il apporterait de nombreux avantages à l'employé et à l'employeur, notamment sur les problématiques de santé et QVT : limiter les déplacements et donc réduire la fatigue, le stress, les accidents de trajet, limiter l'absen-

## Évaluation de l'impact psychologique du télétravail

téisme, mieux concilier vie privée et vie professionnelle, favoriser le maintien dans l'emploi d'une personne en situation de handicap, augmenter les capacités de concentration et de productivité, donner aux employés une plus grande autonomie dans la réalisation des activités. Toutefois, cette organisation du travail pourrait aussi présenter des effets négatifs pour l'employeur, avec une éventuelle baisse de performance et, pour les télétravailleurs, avec possiblement baisse de la qualité des relations, isolement du collectif de travail, surengagement, inadaptation de l'environnement ou de l'équipement de travail, empiètement des activités professionnelles sur les activités familiales. Or, les effets des risques psychosociaux (RPS) liés à la situation de travail sur les maladies cardiovasculaires, la santé mentale et les troubles musculosquelettiques (TMS) sont connus [1]. En 2003, Allen, Renn et Griffeth ont développé un modèle théorique selon lequel le télétravail impacterait l'état psychologique d'un individu à travers trois items : qualité de vie au travail, relations interpersonnelles au travail et conciliation entre vie privée et vie professionnelle [2]. Cependant, la littérature fournit peu de données sur l'impact psychologique du télétravail. Les principaux effets positifs seraient une meilleure qualité du travail, une augmentation de productivité et une meilleure qualité de vie personnelle, avec moins de fatigue et de stress [3]. En revanche, existerait un paradoxe du télétravail avec augmentation du temps de travail et de la charge de travail ressentie [3]. Dans une étude récente, le niveau de stress et les symptômes anxio-dépressifs étaient diminués mais certains salariés présentaient des effets contraires [4]. Une hausse du temps de travail, voire une submer-

sion sur la vie privée, a été retrouvée chez 5 % des sujets. Les facteurs les plus impactants en termes de risque d'excès de stress étaient le harcèlement (témoin ou victime), les relations dégradées avec les collègues, le soutien des collègues et la perte de sens du travail [4]. Une étude américaine, publiée en 2016, portant sur l'intensité du télétravail, montrait que ses effets bénéfiques sur la santé suivent une relation en U inversé : la pratique modérée de télétravail offrirait le maximum de bénéfices pour la santé, comparativement à une très faible ou à une très forte intensité. Les télétravailleurs seraient moins susceptibles de vivre des épisodes de dépression que les travailleurs traditionnels. Par ailleurs, des effets potentiellement positifs du télétravail en termes de réduction d'abus d'alcool, de consommation de tabac, d'inactivité physique et d'obésité ont aussi été montrés [5]. En 2007, une étude publiée aux États-Unis montrait que les effets positifs sur le stress et la santé mentale des télétravailleurs reposeraient surtout sur la diminution des déplacements en automobile [6].

De ce fait, le projet d'expérimentation du télétravail au CHU de Nice a amené le MeST à proposer une étude sur les effets du télétravail, notamment sur l'état psychologique des agents. L'objectif était d'identifier des contraintes ou des risques professionnels spécifiques qui pourraient donner lieu à des actions de prévention ciblées avant son déploiement général au sein du CHU. Les objectifs secondaires étaient de mieux connaître les motivations des agents pour ce choix, de connaître leur perception des risques professionnels en lien avec le télétravail et de déterminer les modalités de suivi de santé au travail spécifique à mettre en œuvre.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### POPULATION

L'expérimentation a débuté le 9 avril 2018 et ne concernait que les participants au groupe de travail mis en place par le service QVT. Il fallait être volontaire, avoir au moins un an d'ancienneté, réaliser des tâches éligibles au télétravail, être dans un service qui pouvait mettre en place le télétravail sans être désorganisé, disposer d'un environnement propice au télétravail au domicile, avec une pièce ou une zone spécifique conforme aux normes d'hygiène et de sécurité. Les accords de l'agent, de son cadre et de la direction étaient nécessaires. L'ordinateur portable était fourni par l'hôpital. Les critères d'inclusion dans l'étude du MeST étaient de participer à l'expérimentation.

### MÉTHODOLOGIE POUR LE RECUEIL DES DONNÉES

Il s'agit d'une étude transversale qualitative réalisée entre le 15 octobre et le 5 novembre 2018 dans une population d'agents expérimentant le télétravail depuis au moins six mois.

Parmi le large éventail de méthodes de recherche qualitatives, la plupart des publications décrivent l'utilisation des entretiens individuels et des entretiens de groupes. Dans cette étude, afin de comprendre les perceptions de chacun sans phénomène d'influence au sein du groupe, la réalisation d'entretiens individuels a été choisie. Lors de ces entretiens, chaque télétravailleur a signé une note d'information et un consentement éclairé pour la participation à l'étude et l'enregistrement numérique des entretiens. Ces entretiens ont été conduits par une interne en médecine du travail à l'aide d'un guide d'entretien.

## ÉLABORATION DU GUIDE D'ENTRETIEN

La rédaction du guide d'entretien a été effectuée après une analyse de la bibliographie existante en relation avec l'objet de l'étude. La première version du guide d'entretien a été discutée et validée par un médecin du travail du CHU et un médecin spécialisé en recherche qualitative au Département de santé publique de l'hôpital de l'Archet ([annexe 1](#)). La passation d'un entretien-pilote a permis d'ajuster le guide d'entretien initial. Par ailleurs, le guide d'entretien est évolutif et ainsi adapté au fil des entretiens afin de toujours mieux cerner le sujet de l'étude [7].

Le guide était constitué de six parties principales :

- motivations ;
- qualité de vie au travail ;
- santé au travail ;
- climat social et relations interprofessionnelles ;
- conciliation vie privée et vie professionnelle ;
- avantages et inconvénients.

### ENTRETIENS SEMI-DIRIGÉS

Le rôle essentiel de l'enquêteur est de recueillir les données descriptives, guider l'entretien en laissant parler son interlocuteur et l'écouter de façon bienveillante et empathique [8] tout en restant neutre afin d'assurer une communication authentique et indépendante [9]. Ces entretiens semi-dirigés permettaient d'avoir des échanges libres et ouverts avec les télétravailleurs interrogés sur les thèmes abordés.

### ORGANISATION ET DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

Les entretiens ont été réalisés dans les services de MeST sur 3 sites : à l'Archet, Cimiez et Pasteur. Chaque télétravailleur a été convoqué par

la secrétaire médicale du service en fonction de ses disponibilités.

Les entretiens individuels ont été menés dans un bureau confidentiel de médecin du travail, dans une ambiance favorable et sans distraction, en la seule présence de l'enquêteur et du sujet. Les entretiens ont été enregistrés au moyen d'un dictaphone numérique. Chaque entretien a duré environ 45 minutes.

### MÉTHODOLOGIE POUR L'ANALYSE DES DONNÉES

Chaque entretien a été, dans un second temps, retranscrit en verbatim sur un document *Word*, sans reformulation, ni correction. Après retranscription, les entretiens ont été importés dans le logiciel « NVivo 12 », programme destiné à identifier du contenu, à l'organiser par thèmes et à les lier entre eux selon des arborescences permettant d'identifier de nouvelles idées, de nouvelles catégories et d'en faire une analyse descriptive [10]. Dans le but d'augmenter la validité et la qualité des résultats obtenus, une triangulation a été réalisée avec un médecin du travail du CHU pour trois entretiens tirés au sort [11].

## RÉSULTATS

### DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON

Parmi 14 volontaires, 4 n'ont pas pu intégrer l'expérimentation à cause des autres critères d'éligibilité du groupe de travail (organisation du service). L'échantillon de l'étude était donc de 10 sujets. Les profils sociodémographiques et professionnels étaient variés.

Les 10 participants étaient 6 femmes et 4 hommes. Un agent avait entre 30 et 40 ans, 2 agents entre 40 et 50 ans et 7 agents entre

50 et 60 ans. Parmi les participants, 8 étaient mariés, un en concubinage et un célibataire. Seuls les 9 agents qui étaient mariés ou en concubinage avaient des enfants. Parmi eux, 4 vivaient avec leurs enfants au domicile. Tous étaient titulaires de la FPH : 4 agents travaillant à Cimiez, 4 à l'Archet et 2 à Pasteur. Leur ancienneté au CHU de Nice était de 10 à 20 ans pour 5 d'entre eux, de 20 à 29 ans pour 2 d'entre eux et de plus de 30 ans pour les 3 derniers. Parmi les 10 participants, 6 travaillaient à temps plein, 1 agent à 90 % et 3 à 80 %. Les postes de travail étaient : cadre pédagogique dans l'école des sages-femmes, chef de projet, cadre administratif, responsable syndical, secrétaire médical, médecin, représentant syndical, responsable service de paie, chargé de déploiement, ingénieur.

Quatre agents avaient 2 jours de télétravail par mois, 3 en avaient 1 par semaine, 2 en avaient 2 par semaine et le dernier avait un jour par mois.

La distance domicile-travail aller-retour chaque jour a été évaluée entre 0 et 40 km pour 6 personnes, entre 40 et 80 km pour 3 personnes et à 160 km pour le dernier. Les temps de trajet étaient quotidiennement de 0 à 60 minutes pour 5 personnes, de 60 à 120 minutes pour 3 personnes et de plus de 120 minutes pour deux personnes.

### ÉTAT PSYCHOLOGIQUE DÉCRIT PAR LES TÉLÉTRAVAILLEURS

Tous les sujets de cette étude ont témoigné que leur état psychologique était meilleur au moment de l'entretien qu'avant la mise en place du télétravail. Les phrases les plus utilisées ont été :

- « *je suis plus détendu* » (huit fois) ;
- « *je suis plus serein* » (cinq fois) ;
- « *je suis moins fatigué* » (cinq fois) ;
- « *je suis moins stressé* » (trois fois).

## Évaluation de l'impact psychologique du télétravail

Ils expliquaient que la journée de travail démarre favorablement avec davantage de sommeil (trois fois) et l'absence de trajet (cinq fois) et que le travail est facilité car il y a moins de sollicitations et d'interruptions par les collègues (quatre fois).

Quatre télétravailleurs relevaient également un côté potentiellement négatif du télétravail sur l'état psychologique. Trois télétravailleurs évoquaient une augmentation de la charge de travail pouvant engendrer un stress supplémentaire. Cette situation était bien tolérée aux dires de deux d'entre eux. Le troisième télétravailleur concerné précisait que cette augmentation résultait d'un sentiment de culpabilité : se sentant privilégié, il souhaitait compenser ce sentiment négatif en travaillant davantage. Le quatrième sujet évoquait un sentiment de mise à l'écart provoquée par la jalousie de ses collègues ne bénéficiant pas de l'expérimentation.

Cinq télétravailleurs indiquaient, en moyenne, une heure de sommeil supplémentaire par rapport aux jours sans télétravail.

### QUALITÉ DU TRAVAIL DÉCRITE

Les télétravailleurs étaient unanimes concernant l'amélioration de leur productivité. Six d'entre eux estimaient effectuer en une journée de télétravail ce qu'ils réalisaient habituellement en un jour et demi voire deux jours, soit une augmentation de productivité de 150 %, voire 200 %. La majorité pense qu'ils sont « meilleurs » car ils ne sont pas dérangés à la maison. D'ailleurs, six télétravailleurs utilisaient le mot « concentration » en parlant de leur qualité de vie au travail. Un agent estimait qu'elle était très bonne mais sans noter de différence entre la maison et l'hôpital. Cinq agents estimaient que leur concentration

était meilleure à la maison car ils étaient moins dérangés et dans un environnement plus favorable.

### CONDITIONS DE TRAVAIL DÉCRITES

Concernant l'organisation du temps de travail, cinq télétravailleurs décrivaient des horaires de travail identiques en télétravail et à l'hôpital. Ils respectaient les temps de pause durant la journée, dont la pause méridienne. Les cinq autres télétravailleurs signalaient qu'ils travaillaient plus à la maison qu'à l'hôpital, trois d'entre eux respectant les mêmes horaires mais en étant plus rigoureux, en perdant moins de temps à la maison, tout en respectant des coupures. Les deux derniers augmentaient leur amplitude horaire et diminuaient leurs temps de pauses, travaillant ainsi une heure et demi de plus qu'à l'hôpital. L'un d'eux faisait une coupure à midi de 45 minutes et l'autre ne prenait pas de pause méridienne.

Concernant l'environnement de travail au domicile, huit télétravailleurs estimaient leur poste de travail adapté et deux d'entre eux le trouvaient mieux qu'à l'hôpital. Ils avaient tous un poste dédié au télétravail. Cinq agents utilisaient un bureau, trois agents une table dans la salle à manger et deux agents alternaient entre ces deux pièces. Six télétravailleurs signalaient que les écrans des ordinateurs portables fournis étaient trop petits. Parmi eux, deux agents utilisaient leur ordinateur personnel et trois agents un grand écran personnel. Un télétravailleur estimait que la qualité d'écran pourrait être améliorée.

### RELATIONS INTERPERSONNELLES AU TRAVAIL DÉCRITES

Aucun des sujets n'a rapporté un sentiment d'isolement social. Les

dix agents gardaient un contact régulier par courrier électronique ou par téléphone avec leurs collègues et leur hiérarchie.

### RELATIONS AVEC LA HIÉRARCHIE

Huit télétravailleurs disposaient d'une forte latitude décisionnelle dans leur travail quotidien. Pour six d'entre eux, le télétravail n'a pas changé leur relation avec la hiérarchie de proximité. Un agent qui travaille avec plusieurs responsables rapportait que, d'une manière générale, ses responsables trouvaient une plus-value dans le télétravail sauf une personne qui aurait tenu quelques réflexions négatives du fait du manque de disponibilité physique à l'hôpital. Concernant spécifiquement l'autonomie, elle était difficile à évaluer car huit agents disposaient déjà d'une large latitude décisionnelle. Les deux seuls télétravailleurs encadrés par une hiérarchie directe disaient ne pas avoir rencontré de difficultés. Ils estimaient avoir assez d'autonomie pour organiser librement leur journée de télétravail et évoquaient la satisfaction, en termes de qualité et de quantité, de leur hiérarchie par rapport au télétravail. Ils insistaient sur la relation de confiance, primordiale selon eux.

### RELATIONS AVEC LES COLLÈGUES NON-TÉLÉTRAVAILLEURS

Cinq télétravailleurs témoignaient d'avis mitigés sur ce sujet. Certains collègues trouvaient le télétravail très positif. Deux télétravailleurs relataient notamment l'intérêt de leurs collègues, qui souhaitaient son déploiement général. D'autres en avaient un jugement négatif, avec des commentaires sur l'absence physique. Parmi les propos rapportés, les plus notables étaient :  
- « *il est encore absent* » ;

- « *bonnes vacances* » (la veille d'un jour de télétravail) ;

- « *de toute façon, il n'est jamais là* » ;

- « *tu es encore planqué à la maison* ».

Deux télétravailleurs avaient même le sentiment d'un regard très négatif sur leur activité en tant que télétravailleur.

Enfin, un télétravailleur évoquait l'indifférence de ses collègues sur ce sujet.

#### **ORGANISATION ET AMBIANCE AU TRAVAIL**

Quatre télétravailleurs estimaient que la mise en place du télétravail n'avait pas désorganisé le fonctionnement de leur service. En tant que télétravailleurs, ils estimaient ne pas ajouter de charge de travail à leurs collègues. Deux télétravailleurs, travaillant en équipe, précisaient que le télétravail facilitait les tâches de leurs collègues. Un télétravailleur notait qu'il y avait davantage de solidarité dans son service. Un télétravailleur relevait quelques tensions dans son service. Selon lui, elles étaient probablement provoquées par la jalousie de ses collègues ou par une frustration car le télétravail ne leur avait pas encore été proposé. Un autre agent évoquait une dégradation de l'ambiance au travail avec certaines personnes de son service, où des tensions étaient préexistantes à la mise en place du télétravail. Un télétravailleur relatait que son équipe avait été en difficulté au début du fait de son absence deux fois par semaine. Selon ses dires, l'organisation de son service s'est améliorée dans le temps.

#### **CONCILIATION ENTRE VIE PRIVÉE ET VIE PROFESSIONNELLE**

La conciliation entre vie privée et vie professionnelle a été explorée. Six agents ont répondu qu'il n'y avait

pas de différence entre le télétravail et le travail habituel. Trois télétravailleurs, dont deux mariés avec des enfants présents à la maison, considéraient que la conciliation était meilleure depuis la mise en place du télétravail. Pour un agent, le télétravail a permis de gagner du temps sur le temps de transport, lui permettant d'aller chercher son enfant à l'école. Un agent précisait que le télétravail améliorait la qualité de vie familiale. Il partageait plus de temps avec sa famille et avait plus de temps libre pour ses loisirs. Quatre télétravailleurs, dont trois mariés avec des enfants présents à la maison, évoquaient l'importance d'être rigoureux et organisé pendant les jours de télétravail car ils pourraient être facilement tentés par la gestion de la famille ou du domicile.

#### **MOTIVATIONS**

Une majorité d'agents avançait comme principale motivation l'augmentation de la qualité du travail et de la productivité. Quatre télétravailleurs voulaient être moins dérangés et deux télétravailleurs recherchaient plus de concentration, loin de l'agitation quotidienne du bureau. Pour cinq personnes, une des principales motivations était aussi la diminution du temps de trajet. L'une de ces cinq personnes mettait en avant les économies financières réalisées comme motivation supplémentaire. Deux autres télétravailleurs évoquaient également des raisons médicales. Deux télétravailleurs ont parlé de curiosité.

#### **PERCEPTION DU TÉLÉTRAVAIL PAR LES TÉLÉTRAVAILLEURS**

Les témoignages des télétravailleurs étaient homogènes concernant les aspects positifs du télétravail.

Ils évoquaient :

- la sérénité au travail ;
- un moindre sentiment de stress ou de fatigue ;
- un meilleur état d'esprit ;
- une meilleure concentration et une meilleure productivité ;
- l'avantage de ne pas utiliser les transports ;
- une meilleure qualité de vie au travail et hors travail.

Deux personnes pensaient que le télétravail permettrait à l'établissement de diminuer l'absentéisme dans les services, notamment si les absences sont liées à des difficultés à se déplacer sur le lieu de travail.

Enfin, un agent évoquait le gain sur le plan économique, en lien avec la réduction des trajets.

Cinq télétravailleurs considéraient que le télétravail ne présentait aucun inconvénient, sous réserve, selon deux agents, d'un nombre de jours télétravaillés inférieur ou égal à deux par semaine.

Cependant, des aspects négatifs ont été rapportés par trois télétravailleurs au sujet du regard des autres, d'une forme de jalousie ou d'un sentiment de culpabilité chez les télétravailleurs.

De plus, deux personnes signalaient une augmentation de leur temps de travail.

#### **RISQUES PROFESSIONNELS SELON LES TÉLÉTRAVAILLEURS**

Neuf télétravailleurs évoquaient le risque de dépassement de l'horaire de travail, le fait d'avoir une connexion permanente au domicile facilitant cette augmentation du temps travaillé. Un agent ajoutait qu'il y aurait un lien entre le dépassement des horaires et le sentiment de culpabilité envers ses collègues. Se sentant privilégié, il travaillait davantage pour compenser. Un télétravailleur

## Évaluation de l'impact psychologique du télétravail

évoquait des risques similaires à ceux du travail traditionnel, notamment le travail sur écran, avec un impact sur le système musculo-squelettique et oculaire. Un télétravailleur mentionnait le risque d'isolement social. Quatre télétravailleurs notaient la diminution du risque routier.

### PISTES D'AMÉLIORATION PROPOSÉES PAR LES TÉLÉTRAVAILLEURS

Après six mois d'expérimentation, tous les télétravailleurs souhaitaient poursuivre le télétravail et le voir déployé et proposé aux autres agents. Une majorité des sujets demandait une amélioration sur le plan informatique avec une meilleure connexion. Parmi eux, trois personnes évoquaient également la mise en place d'un numéro dédié pour l'assistance informatique. Deux agents souhaitaient une messagerie instantanée qui aiderait à garder plus de contact avec leurs collègues. Un télétravailleur aurait aimé avoir un organigramme décisionnel écrit en cas de problème informatique. Une personne demandait un écran d'ordinateur plus adapté à son activité. Trois télétravailleurs évoquaient la nécessité de sensibiliser tous les agents du CHU sur le télétravail avant son déploiement, afin d'éviter un éventuel regard négatif sur l'image du télétravailleur.

### RÔLE DU MÉDECIN DU TRAVAIL SELON LES TÉLÉTRAVAILLEURS

Sept télétravailleurs pensaient que le rôle du service de santé au travail était important. Pour ces agents, un suivi adapté est primordial afin de diminuer un éventuel impact négatif du télétravail sur leur état psychologique, d'améliorer l'ergonomie et le bien-être au travail. Ainsi, la plupart des télétravailleurs

disait qu'une sensibilisation individuelle, avant la mise en place du télétravail, réalisée en médecine du travail, est importante et nécessaire pour donner les informations relatives aux risques professionnels, à l'ergonomie du poste de travail et donner des conseils de bonnes postures à domicile. Trois télétravailleurs évoquaient aussi l'intérêt de proposer le télétravail comme aménagement de poste temporaire ou définitif pour certains agents victimes de pathologies sévères ou lors d'une reprise à temps partiel thérapeutique. Concernant l'organisation du suivi de santé au travail, cinq télétravailleurs jugeaient utile de mettre en place un suivi médical spécifique au télétravail. Un télétravailleur considérait qu'une visite tous les six mois était suffisante. Un télétravailleur demandait une visite à domicile avec une étude ergonomique de son poste. Quatre télétravailleurs pensaient qu'un suivi adapté n'était pas nécessaire pour les télétravailleurs sans restriction médicale.

## DISCUSSION

Les principaux avantages décrits par les télétravailleurs étaient, par ordre d'importance :

- professionnels : productivité, concentration, diminution de l'absentéisme ;
- personnels : diminution du stress et de la fatigue physique, qualité de vie au travail, sérénité, meilleur état d'esprit, gain de temps au profit de la vie privée ;
- environnementaux : journée sans transport ;
- financiers : gain économique sur les frais de transport.

La majorité des télétravailleurs n'a pas vu d'inconvénients au télétra-

vail. Uniquement deux aspects négatifs étaient signalés :

- socioprofessionnels : stigmatisation et regard négatif des collègues non-télétravailleurs ;
- organisationnels : augmentation du temps de travail.

Les résultats de cette étude doivent être interprétés en tenant compte de limites méthodologiques et de divers biais. En effet, l'effectif disponible était faible. Les dix agents interrogés, souhaitant que le projet de déploiement du télétravail aboutisse, ont pu sous-estimer les impacts négatifs et les risques professionnels, consciemment ou non. La spontanéité, la sincérité et l'authenticité de leurs réponses ont pu être réduites du fait de phénomènes de timidité face à l'enquêteur ou à cause de l'enregistrement numérique. La méthode employée, avec des entretiens semi-dirigés et une interprétation subjective, a pu conduire à des influences ou des erreurs d'interprétation. Le manque d'expérience de l'enquêteur a pu altérer la technique des entretiens, du recueil et de l'analyse des données. Par ailleurs, les résultats obtenus ne sont pas aisément extrapolables à d'autres structures, hospitalières ou non, compte tenu des activités et de l'organisation propres au CHU de Nice. Ils ne peuvent pas non plus être généralisés à tous les postes de l'hôpital du fait de l'autonomie et de la latitude décisionnelle généralement importantes des agents inclus dans cette étude. Toutefois, cette étude est l'une des premières études qualitatives concernant l'impact psychologique du télétravail dans la FPH. Elle a été initiée, coordonnée et menée par un service de santé au travail, garantissant aux participants le respect de la confidentialité et l'indépendance vis-à-vis de la hiérarchie. Cette étude s'est affranchie de certains

biais. Tous les agents « testeurs » inclus ont accepté l'étude et ont été interrogés, probablement du fait de l'implication du service de santé au travail dès les premières réunions du groupe de travail, favorisant le suivi et la confiance entre enquêteur et télétravailleurs. Ce lien a également permis la qualité des entretiens en minimisant le risque de barrières ou de mécanismes de défense. La méthode qualitative préconise une « proximité » entre l'enquêteur et le sujet, un « engagement » réciproque à la recherche d'une information authentique et sincère, ce qui a été le cas ici. Les questions semi-ouvertes abordées sur plusieurs items appelaient des réponses riches, qui reflétaient très précisément le ressenti et le vécu des personnes interrogées. La quantité et la qualité des résultats obtenus ont permis la mise en place pertinente d'une démarche de prévention en lien avec le déploiement du télétravail au CHU de Nice.

Cette étude suggère que le télétravail occasionne une amélioration nette de la qualité de vie des agents. Leur sentiment de bien-être est augmenté. Ils évoquent un épanouissement et une sérénité en lien avec leur autonomie pour l'organisation de leur travail. L'équilibre entre vie privée et vie professionnelle est amélioré. Cette qualité de vie au travail a un effet positif sur le plan psychologique : moins de stress, moins de fatigue et plus de motivation les autres jours de la semaine lorsqu'ils se déplacent au bureau.

Cependant, 30 % des télétravailleurs ont décrit une exposition au facteur de risque organisationnel « *augmentation du temps de travail* » et un télétravailleur a décrit un facteur de risque psychosocial au travers du « *manque de soutien de la part de ses collègues non-télétravailleurs* ». Ces facteurs bénéfiques et adverses sont

concordants avec les données de la littérature [12].

L'augmentation du temps de travail pourrait être liée à un impact indirect sur la santé des TIC qui jouent un rôle dans l'intensification du travail. Néanmoins, en tant qu'outils de communication, elles peuvent permettre de favoriser l'entraide et la coopération entre collègues, ce qui atténue les risques pour la santé [13]. Il est possible de supposer que les télétravailleurs sont plus productifs car leur journée commence plus favorablement, sans stress et sans fatigue causés par les trajets domicile-travail. Les agents anticipent leurs tâches éligibles au télétravail, celles nécessitant une bonne concentration. Selon eux, leur productivité est meilleure car ils ne sont pas interrompus comme au bureau, le plus souvent partagé. À domicile, ils arrivent à travailler en continu à leur propre rythme, dans le silence. Le fait d'avoir cette journée productive leur permet de mieux organiser leur activité mensuelle et de moins s'inquiéter s'ils ont du retard. Ils savent qu'ils pourront avancer pendant la journée de télétravail. De ce fait, ils sont rassurés. Les télétravailleurs travaillant en équipe ont bonne conscience car, grâce à leur travail fourni en un jour de télétravail, leurs collègues avancent également. Le télétravail présente ainsi un enjeu pour le télétravailleur mais également pour le collectif. Les résultats concernant le temps de travail sont également concordants avec les données de la littérature [3] : 50 % des agents télétravailleurs indiquaient que leur temps de télétravail journalier était identique à celui effectué au bureau. L'autre moitié des agents signalait une augmentation du temps de travail effectif. Cela peut s'expliquer de deux manières :

- trois agents expliquaient qu'ils n'avaient ni augmenté l'ampli-

tude horaire ni diminué le temps de pause. Simplement, leur façon de travailler était plus rigoureuse, se concentrant davantage sur les tâches professionnelles. Ces agents ne dépassaient pas la durée légale de travail par jour, ils respectaient des pauses régulières et leur temps libre restait identique. En fait, dans ce cas-là, l'augmentation du temps de travail semblait simplement être le synonyme d'une meilleure productivité liée à un environnement matériel plus stimulant. L'impact psychologique est positif ;

- dans le deuxième cas, deux télétravailleurs dépassaient l'amplitude horaire journalière et diminuaient le temps de pause. Selon eux, il s'agissait d'un choix personnel d'organisation et non d'une contrainte. En augmentant le temps de travail en télétravail, ils diminuaient leur stress durable au travail qui pourrait avoir des conséquences sur leur santé. Les deux travailleurs occupaient un poste impliquant la réalisation de leurs missions professionnelles dans un délai défini.

Concernant les relations au travail, la grande majorité des télétravailleurs n'a pas signalé d'impact négatif sur leurs relations avec leur hiérarchie. Ils ont indiqué que, grâce à leur performance et à la quantité du travail fourni, ce mode de travail présente un avantage pour les responsables et le fonctionnement des services. Avec les collègues, le ressenti était généralement bon malgré des réflexions et un regard des autres sur le télétravail parfois négatifs. Cela peut être ressenti comme du mépris, de la jalousie ou du jugement. Il est à noter que deux télétravailleurs signalaient un regard négatif sur leur travail. Un sentiment de culpabilité était très fort dans le cas d'un télétravailleur, ce qui peut être analysé comme une nouvelle



## Évaluation de l'impact psychologique du télétravail

source de RPS. Ainsi, cette étude suggère le regard négatif comme étant potentiellement un facteur de RPS, à l'origine de sentiments de culpabilité pour lequel des mesures de prévention primaire peuvent être mises en place. Pour améliorer la considération de leurs collègues pour les télétravailleurs, un triptyque pour les agents non-télétravailleurs a été élaboré. Le but était de sensibiliser la population générale du CHU de Nice afin d'éviter les préjugés concernant les télétravailleurs.

La conciliation entre vie privée et vie professionnelle semblait dépendre de l'apprentissage, par le télétravailleur et son entourage, de cette nouvelle situation professionnelle. Ceci est concordant avec une étude canadienne réalisée en 2006 sur les conflits possibles entre vie professionnelle et vie personnelle et familiale [14].

La plupart des articles et revues scientifiques consacrées au télétravail mentionne comme principale motivation la possibilité de travailler dans un environnement familial, calme et autorisant une flexibilité supplémentaire en matière de temps de travail et de conciliation des rôles [15]. Dans cette étude, la principale motivation conduisant les agents à opter pour le télétravail était liée à la volonté d'augmenter leur productivité et leur concentration au travail. Lors des entretiens, six télétravailleurs sur dix ont évoqué le problème d'interruptions et d'interactions entre les collègues au bureau. Cette ambiance ne leur permet pas un travail consciencieux ni une bonne concentration. Aucun des télétravailleurs de cette étude n'a cité une meilleure conciliation vie privée-vie professionnelle comme motivation. Le deuxième motif régulièrement

cité était lié à la volonté de réduire les déplacements entre le domicile et le lieu de travail. Quatre télétravailleurs parcourent chaque jour plus de 40 km de trajet domicile-travail.

### CONCLUSION

Cette étude a montré que le télétravail représente un avantage essentiel pour les travailleurs qui en ont fait l'expérimentation au CHU de Nice. Lorsqu'un agent devient télétravailleur, il est confronté à une réorganisation professionnelle nécessitant l'acquisition de nouvelles compétences. Ce changement offre une amélioration de la qualité de vie au travail et une évolution dans la carrière de l'agent. Toutefois, le télétravail peut également présenter des effets délétères s'il n'est pas encadré par un programme de prévention qui doit être mis en place par l'employeur, le secteur QVT et le service MeST. Cette étude a permis d'enrichir les connaissances sur ce mode de travail et de réaliser un diagnostic approfondi dans le but de préciser la nature et l'importance des facteurs psychosociaux et organisationnels, ainsi que d'évaluer les contraintes des télétravailleurs, aboutissant à la mise en place d'une approche de prévention spécifique au télétravail concernant la visite d'information et de prévention et des modalités de surveillance. Ainsi, chaque télétravailleur sera vu en consultation à la prise de ses nouvelles fonctions et un guide d'entretien spécifique au télétravail, utilisable en visite médicale a été élaboré, à partir de celui de l'étude et des réponses des salariés testeurs. Afin de prévenir les effets négatifs sur

la santé du télétravail, un support concernant les RPS, le poste de télétravail à domicile et le travail sur ordinateur portable a également été élaboré. Ce document destiné aux télétravailleurs est basé sur les résultats de cette recherche qualitative, sur la bibliographie existante et sur les recommandations de l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) relatives au travail sur écran [16, 17].

Au niveau de la direction du CHU, l'expérimentation, satisfaisante, a permis de pérenniser le télétravail en le proposant à 50 agents supplémentaires depuis la réalisation de l'étude dans le cadre de la démarche QVT de l'établissement. Dans le prolongement de ce travail, il serait intéressant de mener une étude prospective sur une durée plus importante et sur un plus grand échantillon d'agents, afin de mesurer quantitativement l'éventuel impact sur la santé. Une nouvelle recherche serait d'autant plus enrichissante si était élaborée une comparaison de l'impact entre les télétravailleurs, les non-télétravailleurs et leurs cadres de proximité.

## POINTS À RETENIR

- La mise en place du télétravail offre une amélioration de la qualité de vie et une valorisation des télétravailleurs dans cette étude au CHU de Nice.
- De manière générale, l'impact psychologique du télétravail est positif.
- L'augmentation du temps de travail et la dégradation des relations interpersonnelles sont préoccupants dans cette étude.
- Le rôle du médecin du travail est de diminuer les éventuels effets délétères dus au télétravail.
- La sensibilisation individuelle par le médecin du travail est importante et nécessaire pour donner les informations relatives aux risques professionnels, à l'ergonomie du poste de travail et donner des conseils de bonnes postures à domicile.
- La sensibilisation collective sur le télétravail est primordiale afin d'éviter les préjugés concernant les télétravailleurs.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | **ALGAVA E, CHOUANIÈRE D, COHIDON C, DUBRE JY ET AL.** - Stress au travail et santé. Situation chez les indépendants. Expertise collective. Paris : Les éditions INSERM ; 2011 : 483 p.
- 2 | **ALLEN DG, RENN RW, GRIFFETH RW** - The impact of telecommuting design on social systems, self-regulation, and role boundaries. In: **FERRIS GR, MARTOCCHIO JJ** (Eds) - Research in Personnel and Human Resources Management. Volume 22. Boston : Emerald Group Publishing Limited ; 2003 : 125-63, 431 p.
- 3 | **LASFARGUE Y, FAUCONNIER S** - Impacts du télétravail 2018 : de plus en plus de qualité et de productivité avec de moins en moins de fatigue et de stress. Observatoire du télétravail, des conditions de travail et de l'ergostressie (OBERGO), 2018 ([www.ergostressie.com/](http://www.ergostressie.com/)).
- 4 | **ROBIEUX A** - Déterminants et impact psychique du Télétravail choisi : une enquête multicentrique comparative en entreprise. Thèse d'exercice de Médecine. St-Quentin en Yvelines : Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines ; 2016 : 196 p.
- 5 | **HENKE RM, BENEVENT R, SCHULTE P, RINEHART C ET AL.** - The Effects of Telecommuting Intensity on Employee Health. *Am J Health Promot.* 2016 ; 30 (8) : 604-12.
- 6 | **MELLO JA** - Managing Telework Programs Effectively. *Empl Responsib Rights J.* 2007 ; 19 (4) : 247-61.
- 7 | **SYLVAIN L** - Le guide d'entrevue : son élaboration, son évolution et les conditions de réalisation d'une entrevue. Actes du 12<sup>e</sup> colloque de l'Association pour la recherche au collégial (ARC). Centre de Documentation Collégiale (CDC), 2000 ([https://cdc.qc.ca/actes\\_arc/2000/sylvain\\_actes\\_ARC\\_2000.pdf](https://cdc.qc.ca/actes_arc/2000/sylvain_actes_ARC_2000.pdf)).
- 8 | **KAUFMANN JC** - L'entretien compréhensif. 4<sup>e</sup> édition. Malakof : Armand Colin ; 2016 : 126 p.
- 9 | **BLANCHET A, GOTMAN A** - L'entretien. 2<sup>e</sup> édition. Malakof : Armand Colin ; 2015 : 128 p.
- 10 | **BRAUN V, CLARKE V** - Using thematic analysis in psychology. *Qual Res Psychol.* 2006 ; 3 (2) : 77-101.
- 11 | **FIELDING N, SCHREIER M** - Introduction: On the Compatibility between Qualitative and Quantitative Research Methods. *Forum Qual Soc Res.* 2001 ; 2 (1) : Art 4.
- 12 | **LASFARGUE Y** - Télétravail rêvé, rejeté, réel ? Halte aux illusions dangereuses. Étude d'impact du télétravail réel sur les conditions de vie et de travail des salarié(e)s. Observatoire du télétravail, des conditions de travail et de l'ergostressie (OBERGO), 2010 ([www.ergostressie.com/](http://www.ergostressie.com/)).
- 13 | **KLEIN T, RATIER D** (Eds) - L'impact des TIC sur les conditions de travail. Paris : Centre d'analyse stratégique ; 2012 : 248 p.
- 14 | **TREMBLAY DG, CHEVRIER C, DI LORETO M** - Le télétravail à domicile : Meilleure conciliation emploi-famille ou source d'invasion de la vie privée ? *Rev Interv Econ.* 2006 ; 34 : 1-25.
- 15 | **TASKIN L** - Télétravail : Les enjeux de la déslocalisation pour le management humain. *Rev Interv Econ.* 2006 ; 34 : 1-20.
- 16 | Prévention des risques. In: Travail sur écran. INRS, 2019 ([www.inrs.fr/risques/travail-ecran/prevention-risques.html](http://www.inrs.fr/risques/travail-ecran/prevention-risques.html)).
- 17 | **SCHMITTER D** - Travail sur écran. Informations importantes pour votre bien-être. 14<sup>e</sup> édition. 44034.f. Lucerne : SUVA, 2014 : 23 p.



## ANNEXE 1 Guide d'entretien élaboré par le service de santé au travail du CHU de Nice pour son étude sur l'impact psychologique du télétravail

THÈME	QUESTIONS
MOTIVATION	1. Vous êtes télétravailleur depuis 6 mois. Pouvez-vous me dire pourquoi vous avez choisi le télétravail ?
QUALITÉ DE VIE AU TRAVAIL ET TÉLÉTRAVAIL	2. Comment évaluez-vous votre productivité quand vous exercez du télétravail ?
	3. Pensez-vous être suffisamment autonome dans votre télétravail ?
	4. Quelles difficultés avez-vous rencontrées en télétravail (au niveau relationnel, technique, organisationnel) ?
	5. Comment gérez-vous votre temps de travail en tant que télétravailleur (horaires de travail, pause déjeuner/café/cigarettes) ?
	6. Comment évaluez-vous votre poste de travail à domicile ?
	SANTÉ AU TRAVAIL ET TÉLÉTRAVAIL
8. Comment évaluez-vous votre état psychologique en tant que télétravailleur (niveau de stress, sommeil) ?	
9. Selon vous, quelles sont les risques professionnels en exerçant le télétravail ?	
CLIMAT SOCIAL ET RELATIONS INTER-PROFESSIONNELLES	10. Qu'est-ce que vos collègues non-télétravailleurs pensent de votre nouvelle vie professionnelle en tant que télétravailleur ?
	11. Que pense votre hiérarchie de votre nouvelle vie professionnelle en tant que télétravailleur ?
	12. Gardez-vous des contacts fréquents avec vos collègues, votre hiérarchie quand vous exercez du télétravail ?
	13. Comment se passent les relations entre collègues lorsque certains exercent du télétravail et d'autres pas ?
CONCILIATION VIE PRIVÉE ET VIE PROFESSIONNELLE	14. Comment gérez-vous votre équilibre vie privée/ vie professionnelle quand vous exercez du télétravail ?
	15. Quelles sont les attentes de votre famille quand vous travaillez à domicile ?
AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	16. Selon vous, quels-sont les aspects positifs du télétravail ?
	17. Quels sont les aspects négatifs du télétravail ?
	18. Quels sont vos souhaits dans le futur en tant que télétravailleur ?

# Bisphénol S dans le papier thermique : quelle exposition cutanée pour les agents de caisse ?

## AUTEURS :

S. Ndaw<sup>1</sup>, D. Jargot<sup>2</sup>, A. Rémy<sup>1</sup>, C. Champmartin<sup>1</sup>, L. Chedik<sup>1</sup>, F. Marquet<sup>1</sup>, A. Robert<sup>1</sup>

EN  
RÉSUMÉ

1. Département de Toxicologie et biométrie, INRS

2. Département de Métrologie des polluants, INRS

Le bisphénol S (BPS) est l'un des principaux substituts du bisphénol A dans le papier thermique. En raison de la similarité structurale des deux molécules, la toxicité du BPS suscite des interrogations qui nécessitent d'évaluer les risques d'exposition par contact cutané. Pour ce faire, une évaluation de l'exposition des agents de caisse a été réalisée dans deux hypermarchés, en mesurant les concentrations en BPS dans leurs urines, comparées à celles d'un échantillon témoin. Une augmentation significative de l'excrétion urinaire de BPS a été observée chez les agents de caisse, indiquant que la manipulation fréquente de papier thermique est à l'origine d'une exposition professionnelle au BPS.

## Remerciements

Les auteurs remercient les services de santé au travail, les entreprises et les salariés pour leur participation à l'étude.

## MOTS CLÉS

Caisier / Risque chimique / Surveillance biologique / Bisphénol / Biométrie

Les bisphénols sont une famille de composés chimiques couramment utilisés dans diverses applications industrielles comme la production de plastiques en polycarbonate, de résines époxy et de papier thermique. Ils sont retrouvés, de fait, dans de nombreux produits de la vie courante : les équipements de sport, les revêtements alimentaires, les reçus de vente, les peintures, les équipements électroniques, les lunettes de soleil mais également dans les textiles qui contiennent des fibres synthétiques (nylon, polyester...) [1]. Le bisphénol A (BPA) est le plus largement utilisé parmi ces composés ; il est associé à un large éventail d'effets toxiques, principalement en raison de ses propriétés œstrogéniques [2]. La libération de BPA des contenants en plastique et de différents produits serait à l'origine de la contamination des aliments, de l'eau de boisson, des poussières et de l'air, conduisant à des expositions environnementales à large échelle des populations. La pré-

sence de BPA dans des échantillons d'urine recueillis dans la population générale a été fréquemment rapportée dans la littérature, avec des fréquences de détection très élevées (90 %) [1, 3]. Le BPA est actuellement classé dans la catégorie 1B des substances toxiques pour la reproduction (préssumé toxique pour la reproduction humaine) dans le règlement CLP<sup>1</sup> de l'Union européenne et il est interdit dans de nombreux produits de consommation destinés aux bébés et aux enfants.

L'exposition au BPA lors de la manipulation de papier thermique a également suscité un intérêt accru ces dernières années. Le BPA, utilisé comme révélateur thermique dans ce papier, peut être transféré sur la peau lors du contact avec le papier, ce qui constitue une source potentielle d'exposition, notamment pour les agents de caisse. Des études menées à l'INRS [4], par des approches *in vivo* et *in vitro* chez le rat, puis *in vitro* chez l'homme, avaient permis d'estimer le passage percutané du BPA chez l'homme.

1. Le règlement CLP désigne le règlement n° 1272/2008 du Parlement européen relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances chimiques et des mélanges.

**Bisphénol S dans le papier thermique : quelle exposition cutanée pour les agents de caisse ?**

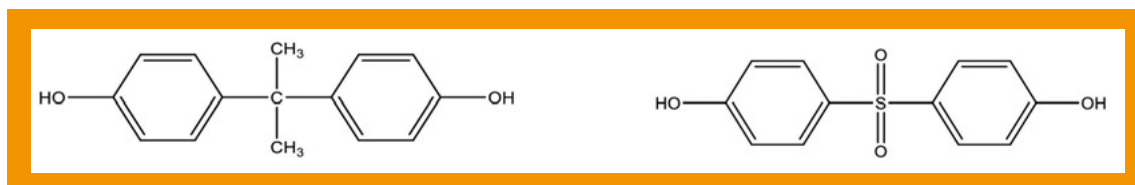
2. Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals : règlement du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne, qui met en place un système intégré unique d'enregistrement, d'évaluation et d'autorisation des substances chimiques.

Ainsi, une exposition cutanée d'une heure sur les mains et avant-bras, correspondant à une surface de 2 000 cm<sup>2</sup>, équivaldrait à une contamination de 240 µg de BPA. Pour un sujet de 60 kg, l'absorption cutanée serait alors de 4 µg/kg/jour, ce qui correspond à la dose journalière admissible proposée par l'EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) dans son évaluation des risques de 2015. Par la suite, l'exposition professionnelle des agents de caisse lors de la manipulation des tickets a été rapportée par Thayer et al. [5] et Ndaw et al. [6], qui ont montré une augmentation significative des excréctions urinaires du BPA par rapport à une population témoin. Le BPA a ainsi été ajouté à la liste de substances réglementées de REACH<sup>2</sup> en 2016 (règlement 2016/2235) et son utilisation a été interdite dans le papier thermique à une concentration égale ou supérieure à 0,02 % en poids depuis le 2 janvier 2020, ce qui revient à l'interdiction de son utilisation dans les tickets de caisse à partir de cette date. Ces règlements successifs ont pour conséquence la substitution du BPA par d'autres composés dans ses différentes applications industrielles. Dans le papier thermique, le bisphénol S (BPS) est l'un des substitués les plus fréquemment utilisés. En raison de sa similarité structurale avec le BPA (figure 1), la toxicité du BPS suscite des interrogations et son utilisation dans le papier thermique incite à évaluer les risques d'exposition des agents de caisse par contact cutané.

Les données toxicologiques sur le BPS sont rares, comparativement au BPA. Deux revues récentes [7, 8] ont identifié plusieurs études *in vitro* et *in vivo* rapportant un large éventail d'effets toxiques du BPS, dont des perturbations du système endocrinien, une cytotoxicité, une mutagénicité et des effets sur la reproduction et le développement. L'exposition au BPS conduit à une augmentation de la concentration en lipides dans différentes cellules murines et humaines [9]. Dans une étude *in vivo*, Ivry Del Moral et al. [10] ont montré que le BPS était obésogène à faibles doses, après une exposition périnatale et chronique chez les souris mâles. La récente étude de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), basée sur une méta-analyse des données toxicologiques sur le BPS, à partir de la littérature et de différentes bases de données, confirme la relation entre le BPS et le risque d'obésité [11]. Pelch et al. [12] ont identifié 15 études épidémiologiques conduites ces 5 dernières années sur le BPS. Elles étaient principalement focalisées sur les perturbations métaboliques et les effets sur la reproduction. Si des associations positives ont pu être mises en évidence entre les concentrations urinaires en BPS et l'obésité, les effets sur le diabète, la croissance foetale ou la durée de la grossesse, relatés dans ces études, sont encore sujets à discussion. Toutes ces données renforcent cependant l'hypothèse selon laquelle le BPS pourrait avoir des effets toxiques similaires au BPA. Il serait

par ailleurs plus persistant que le BPA dans l'environnement. Des expositions de la population générale ont été rapportées dans plusieurs pays. En 2012, des concentrations de BPS, comprises entre 0,02 et 21,0 µg/L, avec une concentration médiane de 0,191 µg/L, ont été mesurées dans 81 % des échantillons d'urine provenant des États-Unis et de sept pays asiatiques [13]. En 2013-2014, les résultats de l'enquête nationale américaine sur la santé et la nutrition [14] indiquent une concentration médiane de 0,40 µg/L chez 1 812 adultes de 20 ans et plus, avec un 95<sup>e</sup> percentile de 3,80 µg/L. Les principales sources d'exposition de la population générale sont probablement les aliments, l'eau de boisson et les poussières. Mais ces données restent à confirmer dans la mesure où il est encore difficile d'identifier tous les usages du BPS. Celui-ci a cependant été détecté et quantifié dans des tickets de caisse provenant de plusieurs pays [8, 15]. En France, sur 176 échantillons de papier thermique analysés, 28 % contenaient du BPS [6]. Dans une étude plus récente, publiée par Molina-Molina et al. [16], 21 % des reçus de caisse collectés en région parisienne contenaient du BPS avec une moyenne géométrique de 21 mg/g de papier. La manipulation de papier thermique pourrait donc constituer une source d'exposition au BPS, notamment pour les agents de caisse. Certains auteurs ont estimé l'absorption cutanée quotidienne de BPS après la manipulation de papier

Figure 1 : Structures chimiques du bisphénol A (à gauche) et du bisphénol S (à droite).



thermique en utilisant les données toxicocinétiques du BPA. Pour les personnes exposées professionnellement, la voie cutanée pourrait représenter un apport de BPS compris entre 15,6 et 71 µg/jour, pour un taux d'absorption de 27 % et une fréquence de manipulation correspondant à 150 fois un contact de 5 secondes [17, 18]. Ces éléments sont cependant à considérer avec précaution dans la mesure où le BPA a des propriétés physicochimiques différentes de celles du BPS. L'absorption de BPS par la peau après un contact direct doit encore être démontrée.

Cet article présente les résultats d'une étude portant sur l'évaluation des expositions professionnelles d'agents de caisse au bisphénol S. Dans l'organisme, le BPS est métabolisé majoritairement en BPS-glucuronide et éliminé sous cette forme dans les urines, la forme non conjuguée représentant environ 3 % [19]. Le BPS total (somme des formes conjuguées et de la forme libre) est donc le principal biomarqueur d'exposition au BPS. Le dosage du BPS libre (sous sa forme non conjuguée) peut également constituer un biomarqueur pertinent dans la mesure où il s'agirait de la forme biologiquement active. L'excrétion urinaire du BPS (libre et total) a été mesurée dans une population de salariés manipulant quotidiennement des reçus de caisse et comparée à celle d'une population témoin.

## MÉTHODOLOGIE

### DOSAGE DU BPS DANS LES URINES ET DANS LE PAPIER THERMIQUE

Le BPS urinaire, libre et total, a été dosé par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse et exprimé en µg/L. La limite

de quantification de la méthode a été estimée à 0,1 µg/L [20]. Pour prendre en compte la dilution des urines, un dosage de la créatinine urinaire a également été réalisé sur tous les échantillons par la méthode colorimétrique de Jaffé, puis les résultats ont été exprimés par gramme de créatinine.

La quantification du BPS dans le papier thermique a été effectuée comme décrit précédemment par Ndaw et al. [6], avec une limite de détection de 0,03 % (0,03 mg de BPS dans 100 mg de papier). Brevement, le BPS est extrait du papier thermique par sonication dans un mélange de méthanol et d'eau puis l'extrait est analysé par chromatographie liquide haute performance avec détection fluorimétrique.

### DESCRIPTION DES SECTEURS INVESTIGUÉS ET RECRUTEMENT DES SALARIÉS

Les entreprises participantes ont été recrutées avec l'aide des médecins du travail, sollicités notamment par l'intermédiaire de la revue *Référence en Santé au Travail*, dans la rubrique « *Participez à la recherche* ». Dans un premier temps, des échantillons de papier thermique utilisé par ces entreprises ont été envoyés pour analyse à l'INRS afin de déterminer la nature du révélateur thermique présent (bisphénol S, bisphénol A ou autre). N'ont été retenues, pour participer à l'étude, que les entreprises dans lesquelles le papier thermique manipulé contenait effectivement du BPS. Dans ces entreprises ont ensuite été sollicités des salariés volontaires. Toutes les informations relatives à la recherche leur ont été transmises et leur consentement éclairé écrit a été recueilli.

Au total, 32 salariés de deux hypermarchés ont été inclus dans l'étude. Les salariés potentielle-

ment exposés, au nombre de 17, ont été regroupés sous le terme générique « Agents de caisse » ; ils manipulaient quotidiennement un nombre plus ou moins important de tickets et reçus de caisse. Les concentrations urinaires de BPS ont été également déterminées chez 15 travailleurs non exposés professionnellement, considérés comme un groupe « Témoins ».

Des recueils urinaires de 24 h et des urines spot (recueil à un moment donné) ont été collectés. Pour les urines de 24 h, deux volontaires exposés ont recueilli la totalité de leurs mictions du matin au réveil jusqu'au réveil du lendemain, chaque miction étant collectée séparément. Les urines spot, recueillies durant 1 à 3 jours, sont celles du début de poste de travail, de la fin de poste de travail ainsi que la première miction au réveil du lendemain. Ce protocole de recueil a concerné les 30 autres participants à l'étude.

Des échantillons de papier thermique ont été prélevés lors des campagnes de recueils urinaires pour confirmer la présence de BPS dans le papier effectivement manipulé par les participants à l'étude.

Un questionnaire, destiné à fournir des renseignements sur l'activité professionnelle, l'alimentation et les activités extra-professionnelles, a été soumis aux participants sous la forme d'une interview. Les données recueillies portaient sur :

- le sexe, le poids, la taille, l'âge ;
- l'emploi occupé, l'ancienneté au poste, les tâches effectuées ;
- la consommation d'aliments et de boissons susceptibles d'être des sources de BPS (aliments en conserve, abats, boissons en canette...);
- la consommation de tabac ;
- la manipulation de colles et de peintures, susceptibles d'être à base de résines époxy.

## Bisphénol S dans le papier thermique : quelle exposition cutanée pour les agents de caisse ?

Le nombre de tickets et reçus manipulés par les agents de caisse a été estimé en analysant les transactions de la journée de travail enregistrées pour chaque participant.

### ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Stata 13.0. Le modèle de régression linéaire mixte a été utilisé pour tester l'effet de différentes variables sur le BPS urinaire. Ce type de modèle permet de tenir compte de la non-indépendance des données (recueils urinaires issus des mêmes sujets, eux-mêmes issus des mêmes entreprises) en intégrant un effet aléatoire sujet et un effet aléatoire entreprise. Une transformation logarithmique a été appliquée aux données de BPS urinaire et le seuil de significativité statistique était fixé à 5 %.

Les urines dont la créatinine était inférieure à 0,3 g/L et supérieure à 3 g/L n'ont pas été prises en compte dans l'analyse statistique des données ajustées à la créatinine.

### RÉSULTATS PRINCIPAUX

Le **tableau I** présente la répartition des agents de caisse et des témoins dans les deux hypermarchés, l'estimation du nombre de tickets manipulés et la concentration de BPS dans ces tickets.

Tous les agents de caisse suivis étaient des femmes, âgées de 19 à 52 ans. L'âge médian était de 44 ans (**tableau II**). Dans le groupe « Témoins », il y avait 7 femmes et 8 hommes et l'âge médian était de 41 ans. La médiane de l'ancienneté au poste était de 11,5 années pour les agents de caisse et de 3,5 années pour le groupe « Témoins ».

Les concentrations de BPS dans les tickets et reçus étaient assez simi-

lares dans les deux hypermarchés : de l'ordre de 1,2 mg/100 mg dans l'hypermarché A et 1,4 mg/100 mg dans l'hypermarché B. Le nombre de tickets manipulés quotidiennement était très variable en fonction des agents de caisse, allant de 10 à 400 tickets par jour. Le nombre médian de tickets était de 95 et 200 dans les hypermarchés A et B, respectivement.

### CONCENTRATIONS URINAIRES EN BISPHÉNOL S

Au total, 90 échantillons d'urine ont été prélevés auprès des agents de caisse et 73 échantillons d'urine auprès des témoins. Le BPS total a été quantifié dans 96 % des échantillons témoins et dans 100 % des échantillons des agents de caisse. Le BPS libre a été détecté dans moins de 20 % des échantillons d'urine du groupe « Témoins » (14/73), à des concentrations comprises entre 0,1 et 8,8 µg/L. Ce pourcentage atteignait 46 % (42/90) chez les agents

de caisse, à des concentrations comprises entre 0,1 à 3,0 µg/L.

Le **tableau III** présente la moyenne géométrique, la médiane, l'étendue (valeurs minimales et maximales) et le 95<sup>e</sup> percentile des concentrations en BPS total dans les groupes « Témoins » et « Agents de caisse », ajustées ou non par la créatinine.

Dans le groupe « Témoins », la concentration médiane de BPS total était de 0,67 µg/L. Les concentrations variaient de la limite de quantification (0,1 µg/L) jusqu'à une valeur maximale de 229 µg/L. Cette concentration maximale mesurée chez un témoin était aberrante, au regard de la valeur du 95<sup>e</sup> percentile des concentrations urinaires mesurée à 12,6 µg/L. Toutefois, aucune explication d'ordre environnementale n'a pu être trouvée par l'analyse du questionnaire pour expliquer cette valeur très élevée. Dans la mesure où l'exposition au BPS dans le groupe « Témoins » est uniquement d'origine environ-

↓ **Tableau I**

#### > RÉPARTITION DES AGENTS DE CAISSE ET DES TÉMOINS DANS LES HYPERMARCHÉS SUIVIS. ESTIMATION DU NOMBRE DE TICKETS MANIPULÉS ET CONCENTRATION EN BPS DANS CES TICKETS

Hypermarché	Population suivie		Nombre de tickets manipulés/jour (pour les agents de caisse)		% BPS (mg BPS/100 mg papier)
	Témoins	Agents de caisse	étendue	médiane	
A	8	11	10 - 400	95	1,4
B	7	6	14 - 292	200	1,2

↓ **Tableau II**

#### > DISTRIBUTION DES POPULATIONS ÉTUDIÉES EN FONCTION DU SEXE, DE L'ÂGE ET DE L'ANCIENNETÉ AU POSTE

	Total	Femmes	Hommes	Âge médian (années) [étendue]	Ancienneté médiane (années) [étendue]
Témoins	15	7	8	41 [21 - 55]	3,5 [1 - 31]
Agents de caisse	17	17	-	44 [19 - 52]	11,5 [<1 - 27]

↓ **Tableau III**

➤ **CONCENTRATIONS URINAIRES EN BPS TOTAL (EN µg/L ET EN µg/G DE CRÉATININE) DANS LE GROUPE « TÉMOINS » ET DANS LE GROUPE « AGENTS DE CAISSE »**

	Nombre d'échantillons	Min	Médiane	95 <sup>e</sup> percentile	Max	Moyenne géométrique (déviations standard)
Témoins - BPS total (µg/L)	73	<0,10	0,67	12,6	229	0,72 (3,68)
Agents de caisse - BPS total (µg/L)	90	0,15	2,53	19,9	28,4	2,48 (3,07)
Témoins - BPS total (µg/g créatinine)	70	<0,10	0,52	9,65	77,8	0,52 (3,60)
Agents de caisse - BPS total (µg/g créatinine)	90	0,30	2,07	10,9	33,8	2,12 (2,60)

nementale (et donc non dépendante des horaires de travail), aucune distinction n'a été faite entre les prélèvements de début de poste, fin de poste ou urines du lever.

La concentration médiane en BPS total dans le groupe « Agents de caisse » était de 2,53 µg/L, avec une étendue de 0,15 à 28,4 µg/L. Cette médiane était de 1,69 µg/L chez les agents de caisse de l'hypermarché A et elle était plus élevée, de l'ordre de 4,57 µg/L, pour ceux de l'hypermarché B. Certains agents de caisse de l'hypermarché B ont rapporté l'utilisation d'un désinfectant pour les mains qui pourrait augmenter l'absorption cutanée du BPS. Mais dans la mesure où cette information n'a pas toujours été correctement renseignée dans le questionnaire, cette hypothèse n'a pas pu être testée. Les médianes et les moyennes géométriques des concentrations de BPS, calculées à partir des prélèvements de début de poste, de fin de poste et du lever des salariés appartenant au groupe « Agents de caisse », sont présentées dans le **tableau IV**.

Les questionnaires sur les habitudes alimentaires (aliments et boissons) des populations suivies ont été analysés avec le test de Pearson. Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre le groupe « Témoins » et le groupe « Agents de caisse ». Par conséquent, des modèles de régressions linéaires mixtes ont été utilisés afin de tester, sur les données de BPS urinaire log-transformées, les effets de différentes variables. À noter que la manipulation de colle et de peinture n'a pas été rapportée dans les questionnaires.

↓ **Tableau IV**

➤ **CONCENTRATIONS URINAIRES EN BPS TOTAL DANS LES PRÉLÈVEMENTS DE DÉBUT DE POSTE, FIN DE POSTE ET DU LEVER DANS LE GROUPE « AGENTS DE CAISSE »**

	Nombre d'échantillons	Médiane µg/L (µg/g créatinine)	Moyenne géométrique (µg/L) (déviations standard)
Début de poste	27	2,35 (1,47)	1,90 (5,7)
Fin de poste	27	2,93 (2,34)	2,99 (3,05)
Urines du lever	26	2,62 (2,43)	3,15 (2,55)

Les concentrations de BPS total du groupe « Agents de caisse », en fin de poste et au lever suivant, étaient significativement plus élevées que celles du groupe « Témoins » ; la même différence significative a été constatée entre les concentrations de BPS total des agents de caisse en début de poste et celles des témoins ( $p < 0,003$  pour début poste, fin de poste et urines du lever). Au sein du groupe « Agents de caisse », des différences significatives ont également été constatées en fonction du moment de prélèvement : les concentrations urinaires en BPS total étaient plus élevées en fin de poste et au lever par rapport au début de poste ( $p = 0,011$  et  $p = 0,027$ ). Quel que soit le moment de prélèvement, la concentration de BPS total était significativement plus élevée chez les agents de caisse que chez les témoins ( $p < 0,000$ ). Cette différence est également significative pour chacun des hypermarchés ( $p = 0,002$  pour l'hypermarché A et  $p = 0,001$  pour l'hypermarché B). Ces conclusions restent identiques pour les données ajustées par la créatinine.

L'effet de la variable « Nombre de tickets » a été testé sur l'excrétion du BPS urinaire. Aucune relation n'a été trouvée entre le nombre de tickets manipulés et la concentration en BPS total. Cette relation n'a pas été testée pour le BPS libre étant donné le faible pourcentage d'échantillons quantifiés. Le nombre de lavages des mains, l'âge, l'ancienneté au poste et la consommation de tabac n'ont eu aucune influence sur les excrétions de BPS total.

**CONCENTRATIONS EN BPS DANS LES URINES DE 24 H**

Les profils d'excrétion urinaire du BPS (**figure 2, page suivante**), tracés à partir des échantillons d'urine de 24 heures recueillis auprès de deux agents de caisse, étaient différents et peu caractéristiques, notamment pour l'agent de caisse 2. Le profil de ce dernier ne présentait pas de pic d'excrétion attribuable à une exposition professionnelle. Le BPS total excrété par jour était de 3,42 µg/24 h pour l'agent de caisse 1 et de 1,50 µg/24 h pour l'agent de caisse 2.



## Bisphénol S dans le papier thermique : quelle exposition cutanée pour les agents de caisse ?

### DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude était d'établir les niveaux d'imprégnation au BPS d'une population d'agents de caisse afin de déterminer si la manipulation fréquente de papier thermique induisait une sur-exposition, en comparant les concentrations urinaires à celles d'une population témoin.

Quelques études de biosurveillance ont documenté l'exposition de la population générale au BPS. Les concentrations médianes de BPS urinaire total rapportées dans la littérature étaient de 1,04 µg/L pour la population japonaise [13] et de 0,36 µg/L chez des femmes néerlandaises [21]. La concentration médiane de BPS urinaire plus élevée dans la population japonaise est probablement due à une substitution du BPA amorcée dès la fin des années 1990 dans ce pays. Dans l'enquête nationale américaine sur la santé et la nutrition de 2013-2014 [14] chez 1 812 adultes, une concentration médiane de 0,40 µg/L était retrouvée. Plus récemment, le BPS a été quantifié dans 100 %

des échantillons analysés dans le cadre du programme français de biosurveillance Esteban [22]. En 2014-2016, la concentration médiane de BPS total urinaire était de 0,31 µg/L (0,42 µg/g de créatinine) dans une population française de 900 adultes. Le BPS urinaire total a également été quantifié dans pratiquement la totalité des échantillons du groupe « Témoins » de cette étude, avec une concentration médiane de 0,67 µg/L (0,52 µg/g de créatinine), de l'ordre de deux fois supérieure à celle mesurée chez ces 900 adultes français. Ce groupe « Témoins » a été recruté parmi les employés des hypermarchés ; ils ne manipulaient pas de papier thermique contenant du BPS durant leur poste de travail. Cependant, d'autres sources d'exposition professionnelle ne peuvent être exclues pour ce groupe. Toutes ces données confirment l'imprégnation de la population générale.

Dans la mesure où le BPS non conjugué (libre) serait la forme biologiquement active, sa concentration pourrait être considérée comme un indicateur pertinent des effets potentiels du BPS. Les concen-

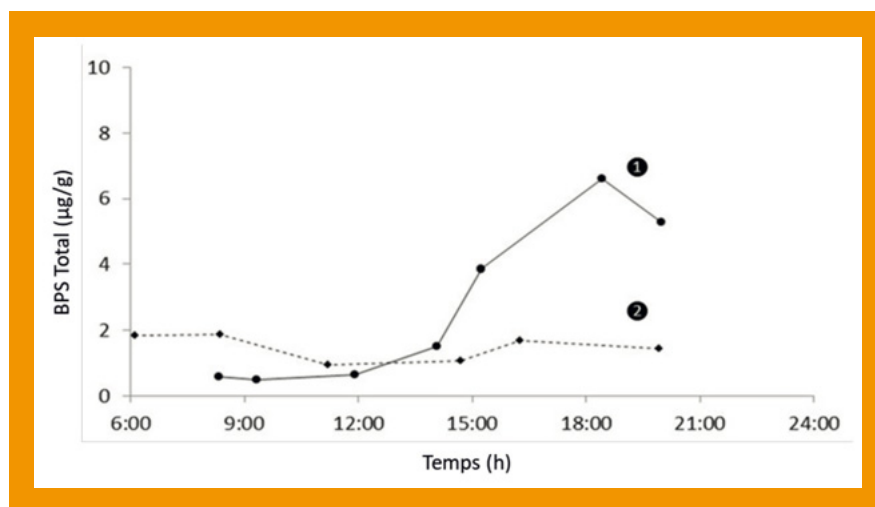
trations en BPS libre ont été évaluées dans certaines études. Les fréquences de détection étaient néanmoins faibles, inférieures à 7 % des échantillons analysés [23, 24]. Le BPS non conjugué a été quantifié dans 20 % des échantillons urinaires recueillis auprès des témoins de cette étude, les concentrations variant de la limite de quantification de 0,1 µg/L à 8,8 µg/L. Dans l'étude Esteban, dont la méthode de dosage était dix fois plus sensible, le BPS non conjugué a été quantifié dans 56 % des échantillons, les concentrations variant de 0,01 µg/L à 8,28 µg/L.

Pour déterminer si la manipulation fréquente de papier thermique est associée à une augmentation de l'excrétion urinaire, la concentration urinaire en BPS total des agents de caisse a été comparée à celle des témoins. Les résultats montrent une augmentation de l'excrétion urinaire de BPS total chez les agents de caisse. La concentration médiane était de 2,07 µg/g de créatinine, significativement supérieure à la concentration médiane de 0,52 µg/g chez les témoins. La fréquence de détection de la forme non conjuguée de BPS était également plus élevée chez les agents de caisse (46 % vs 19 % chez les témoins).

Les quantités de BPS dans les tickets de caisse étaient proches dans les deux hypermarchés suivis (14 et 12 mg/g de papier) et similaires à celles rapportées dans la littérature [8]. Aucune relation n'a été mise en évidence entre le nombre de tickets manipulés et l'excrétion urinaire de BPS.

Des niveaux urinaires de BPS total ont déjà été rapportés dans la littérature par Thayer et al. [5] dans une population de 32 agents de caisse. Les concentrations en fin de poste étaient significativement plus élevées que celles en début de poste,

Figure 2 : Cinétiques d'élimination du BPS total.  
Horaires de travail : agent de caisse ① (09h45 – 17h15) ; agent de caisse ② (10h00 – 19h30).



↓ Encadré 1

avec des moyennes géométriques allant de 0,23 à 0,54 µg/g de créatinine pour le début et la fin de poste, respectivement. Cependant, ces concentrations n'étaient pas significativement plus élevées que celle déterminée dans le groupe témoin, de 0,41 µg/g de créatinine. Les auteurs ont cependant souligné certains biais dans leur étude. Les échantillons de début et de fin de poste n'avaient pas été prélevés le même jour. Par ailleurs, aucune information contextuelle n'avait été recueillie : durée du temps de travail journalier, nombre de tickets manipulés, intervalle entre la fin de poste et le prélèvement, habitudes alimentaires. En revanche, dans la présente étude, des informations détaillées ont été recueillies au moyen d'un questionnaire sur les habitudes alimentaires, la consommation de tabac et le lavage des mains. Aucune différence n'a été observée entre les témoins et les agents de caisse concernant ces facteurs. Il était donc pertinent de comparer les excrétions urinaires des deux groupes. De plus, afin de réduire le biais qui pourrait être induit par la variabilité des concentrations urinaires en raison des différentes sources d'exposition, trois échantillons d'urine spot ont été recueillis chaque jour par participant. Il a ainsi été montré que les concentrations urinaires en BPS étaient plus élevées dans les échantillons de fin de poste que dans les échantillons de début de poste chez les agents de caisse. De plus, les concentrations en BPS total des agents de caisse étaient significativement plus élevées que celles des témoins, quel que soit le moment de prélèvement. La quantité de BPS total excrétée, calculée à partir des échantillons d'urine de 24 h, était, pour deux agents de caisse, de 1,50 µg/jour et 3,42 µg/jour respectivement. Ces

quantités sont nettement inférieures aux 15,6 µg/jour rapportées par Russo et al. [17].

L'ensemble de ces données indique que la manipulation de papier thermique pourrait être une source d'exposition au BPS. La limite principale de cette étude est cependant le nombre réduit d'agents de caisse suivis. D'autres études, à plus grande échelle, seraient nécessaires pour conforter ou non ces premiers résultats.

En complément, l'INRS met en œuvre une approche expérimentale pour évaluer le passage par le BPS de la barrière cutanée (encadré 1). Les nouveaux éléments apportés par ces travaux devraient permettre, à terme, de mieux évaluer les risques liés à la manipulation de papier thermique contenant du BPS. L'ensemble de ces données pourra également nourrir les discussions concernant d'éventuelles évolutions réglementaires pour ce substitut du BPA, notamment dans le cadre de l'évaluation du BPS par l'ECHA (Agence européenne des produits chimiques) pour son utilisation dans le papier thermique.

## CONCLUSION

Cette étude présente des données originales sur les concentrations en BPS dans les urines des agents de caisse. Les données recueillies indiquent que la manipulation quotidienne de papier thermique provoque une augmentation de l'excrétion urinaire de BPS chez les agents de caisse par rapport à des travailleurs non professionnellement exposés. Ces résultats devront être consolidés par des études à plus large échelle.

## > LE BPS VU SOUS UN AUTRE ANGLE

L'INRS a engagé depuis 2018 des études sur le passage percutané du BPS. Les chercheurs se sont intéressés à l'absorption de cette substance à travers des échantillons de peau humaine provenant de chirurgie plastique, grâce à un dispositif *in vitro*. Ces expérimentations ont d'ores et déjà permis de déterminer la quantité de BPS traversant la barrière cutanée et celle restant stockée dans la peau, ainsi que la vitesse à laquelle ce composé diffuse. En parallèle, la biotransformation des molécules de BPS par des enzymes présentes au niveau cutané a été explorée. Le métabolisme de ce bisphénol au niveau local est susceptible de diminuer ou, au contraire, de renforcer son potentiel toxique. Enfin, la toxicocinétique du BPS chez l'homme sera caractérisée par des approches numériques qui modélisent les grandes fonctions physiologiques. Ces modèles numériques permettront de prédire le passage de composés dans le sang pendant la phase d'absorption, la translocation dans différents organes pendant la phase de distribution, la transformation due au métabolisme et enfin l'élimination (modèle pharmacocinétique physiologique dit « PBPK »). Toutes ces données devraient permettre, à terme, de mieux évaluer les risques liés à la manipulation de papier thermique contenant du BPS par les agents de caisse mais également d'extrapoler la toxicocinétique du produit à d'autres scénarios d'exposition (doses différentes, personnes souffrant d'insuffisance hépatique, d'insuffisance rénale, femmes enceintes...). Enfin, les modèles numériques permettront de limiter le nombre d'expérimentations à réaliser pour s'assurer de l'innocuité de nouvelles molécules.

## POINTS À RETENIR

- Le bisphénol S est le principal substitut du bisphénol A dans le papier thermique.
- Les données toxicologiques, bien que rares, confortent l'hypothèse selon laquelle le BPS pourrait avoir des effets toxiques similaires au BPA.
- Les données de biométrie urinaire recueillies auprès d'une population non professionnellement exposée attestent d'une exposition environnementale au BPS.
- La manipulation quotidienne de papiers thermiques fait augmenter l'excrétion urinaire de BPS (libre et total) chez les agents de caisse ; cette augmentation de l'excrétion urinaire est significative par rapport à celle d'agents non exposés professionnellement à des tickets thermiques.
- Le papier thermique est donc une source d'exposition au BPS en milieu professionnel.



## Bisphénol S dans le papier thermique : quelle exposition cutanée pour les agents de caisse ?

### BIBLIOGRAPHIE

- 1 | GEENS T, AERTS D, BERTHOT C, BOURGUIGNON JP ET AL. - A review of dietary and non-dietary exposure to bisphenol A. *Food Chem Toxicol.* 2012 ; 50 (10) : 3725-40.
- 2 | VANDENBERG LN - Non-monotonic dose responses in studies of endocrine disrupting chemicals: bisphenol A as a case study. *Dose Response.* 2013 ; 12 (2) : 259-76.
- 3 | VÖLKEL W, KIRANOGLU M, FROMME H - Determination of free and total bisphenol A in urine of infants. *Environ Res.* 2011 ; 111 (1) : 143-48.
- 4 | MARQUET F, PAYAN JP, BEYDON D, WATHIER L ET AL. - In vivo and ex vivo percutaneous absorption of [<sup>14</sup>C]- bisphenol A in rats: a possible extrapolation to human absorption? *Arch Toxicol.* 2011 ; 85 (9) : 1035-43.
- 5 | THAYER KA, TAYLOR KW, GARANTZIOTIS S, SCHURMAN SH ET AL. - Bisphenol A, Bisphenol S, and 4-Hydroxyphenyl 4-Isopropoxyphenylsulfone (BPSIP) in Urine and Blood of Cashiers. *Environ Health Perspect.* 2016 ; 124 (4) : 437-44.
- 6 | NDAW S, ROBERT A, RÉMY A, JARGOT D ET AL. - Expositions professionnelles au bisphénol A lors de la manipulation de papier thermique. *Vu du terrain TF 238. Réf Santé Trav.* 2016 ; 146 : 51-64.
- 7 | ROCHESTER JR, BOLDEN AL - Bisphenol S and F: A Systematic Review and Comparison of the Hormonal Activity of Bisphenol A Substitutes. *Environ Health Perspect.* 2015 ; 123 (7) : 643-50.
- 8 | BJÖRNSDÖTTIR MK, DE BOER J, BALLESTEROS-GÓMEZ A - Bisphenol A and replacements in thermal paper: A review. *Chemosphere.* 2017 ; 182 : 691-706.
- 9 | HÉLIÈS-TOUSSAINT C, PEYRE L, COSTANZO C, CHAGNON MC ET AL. - Is bisphenol S a safe substitute for bisphenol A in terms of metabolic function? An in vitro study. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2014 ; 280 (2) : 224-35.
- 10 | IVRY DEL MORAL L, LE CORRE L, POIRIER H, NIOT I ET AL. - Obesogen effects after perinatal exposure of 4,4'-sulfonyldiphenol (Bisphenol S) in C57BL/6 mice. *Toxicology.* 2016 ; 357-358 : 11-20.
- 11 | CARVAILLO JC, BAROUKI R, COUMOUL X, AUDOUZE K - Linking Bisphenol S to Adverse Outcome Pathways Using a Combined Text Mining and Systems Biology Approach. *Environ Health Perspect.* 2019 ; 127 (4) : 47005.
- 12 | PELCH K, WIGNALL JA, GOLDSTONE AE, ROSS PK ET AL. - A scoping review of the health and toxicological activity of bisphenol A (BPA) structural analogues and functional alternatives. *Toxicology.* 2019 ; 424 : 152235.
- 13 | LIAO C, LIU F, ALOMIRAH H, LOI VD ET AL. - Bisphenol S in urine from the United States and seven Asian countries: occurrence and human exposures. *Environ Sci Technol.* 2012a ; 46 (12) : 6860-66.
- 14 | Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. Updated Tables. January 2019. Volume 1. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2019 (<https://www.cdc.gov/exposurereport/index.html>).
- 15 | LIAO C, LIU F, KANNAN K - Bisphenol S, a new bisphenol analogue, in paper products and currency bills and its association with bisphenol A residues. *Environ Sci Technol.* 2012b ; 46 (12) : 6515-22.
- 16 | MOLINA-MOLINA JM, JIMÉNEZ-DÍAZ I, FERNÁNDEZ MF, RODRIGUEZ-CARRILLO A ET AL. - Determination of bisphenol A and bisphenol S concentrations and assessment of estrogen- and anti-androgen-like activities in thermal paper receipts from Brazil, France, and Spain. *Environ Res.* 2019 ; 170 : 406-15.
- 17 | RUSSO G, BARBATO F, GRUMETTO L - Monitoring of bisphenol A and bisphenol S in thermal paper receipts from the Italian market and estimated transdermal human intake: A pilot study. *Sci Total Environ.* 2017 ; 599-600 : 68-75.
- 18 | ROCHA BA, DA COSTA BR, DE ALBUQUERQUE NC, DE OLIVEIRA AR ET AL. - A fast method for bisphenol A and six analogues (S, F, Z, P, AF, AP) determination in urine samples based on dispersive liquid-liquid microextraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta.* 2016 ; 154 : 511-19.
- 19 | OH J, CHOI JW, AHN YA, KIM S - Pharmacokinetics of bisphenol S in humans after single oral administration. *Environ Int.* 2018 ; 112 : 127-33.
- 20 | NDAW S, REMY A, DENIS F, MARSAN P ET AL. - Occupational exposure of cashiers to bisphenol S via thermal paper. *Toxicol Lett.* 2018 ; 298 : 106-11.
- 21 | PHILIPS EM, JADDOE VWV, ASIMAKOPOULOS AG, KANNAN K ET AL. - Bisphenol and phthalate concentrations and its determinants among pregnant women in a population-based cohort in the Netherlands, 2004-5. *Environ Res.* 2018 ; 161 : 562-72.
- 22 | BALICCO A, BIDONDO ML, FILLOL C, GANE J ET AL. - Imprégnation de la population française par les bisphénols A, S et F : Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Santé publique France, 2019 (<https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/exposition-a-des-substances-chimiques/perturbateurs-endocriniens/documents/rapport-synthese/impregnation-de-la-population-francaise-par-les-bisphenols-a-s-et-f-programme-national-de-biosurveillance-esteban-2014-2016>).
- 23 | ZHOU X, KRAMER JP, CALAFAT AM, YE X - Automated on-line column-switching high performance liquid chromatography isotope dilution tandem mass spectrometry method for the quantification of bisphenol A, bisphenol F, bisphenol S, and 11 other phenols in urine. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.* 2014 ; 944 : 152-56.
- 24 | YE X, WONG LY, KRAMER J, ZHOU X ET AL. - Urinary Concentrations of Bisphenol A and Three Other Bisphenols in Convenience Samples of U.S. Adults during 2000-2014. *Environ Sci Technol.* 2015 ; 49 (19) : 11834-39.

# Appareils de protection respiratoire utilisés dans les établissements de santé français dans le cadre des précautions « air » en 2018

## AUTEURS :

G. Pellissier <sup>1</sup>, I. Lolom <sup>1,2</sup>, I. Balty <sup>3</sup>, L. Simon <sup>4</sup>, M.G. Leroy <sup>4</sup>, M.C. Bayeux-Dunglas <sup>5</sup>

1. Groupe d'étude sur le risque d'exposition des soignants aux agents infectieux (GERES)

2. UHLIN, CHU Bichat – Claude-Bernard APHP

3. Département Expertise et conseil technique, INRS

4. Société française d'hygiène hospitalière (SF2H)

5. Département Études et assistance médicales, INRS

EN  
RÉSUMÉ

L'utilisation d'appareils de protection respiratoire (APR) de type FFP est recommandée dans le cadre de la mise en place de mesures de prévention des infections respiratoires (précautions complémentaires « air ») dans les services de soins. Une enquête a été conduite pour recenser les APR disponibles dans les établissements de santé dans le cadre de ces précautions « air ». Dans les 258 établissements participant, 97 % disposaient d'APR de classe FFP2, représentés majoritairement par le modèle Bec de canard. Plus de 70 % des établissements ne disposaient que d'un seul modèle d'APR en une seule taille. Des études sont poursuivies pour proposer des méthodes à mettre en place pour améliorer la procédure de choix des APR.

## MOTS CLÉS

Équipement de protection individuelle - EPI / Protection individuelle / Appareil de protection respiratoire / Masque / Enquête

**L**es précautions « air » lors de la prise en charge de patients atteints d'infections transmissibles par voie respiratoire sont bien connues et appliquées dans les milieux de soins [1]. Elles ont conduit à une diminution de l'incidence de la tuberculose chez les soignants [2]. Dans ce cadre, la protection des personnes exposées à un risque infectieux aéroporté repose, notamment, sur le port d'un appareil de protection respiratoire (APR) de type pièce faciale filtrante (FFP) FFP2, voire FFP3 dans certaines indications. Ces APR répondent à la norme NF EN 149 + A1 [3] et permettent de filtrer l'air inspiré. L'efficacité de la protection repose sur les qualités du média filtrant et sur l'étanchéité du masque au visage. Les performances minimales exigées par la norme pour ces APR tolèrent une fuite totale vers l'intérieur qui ne doit pas dépasser 8 % pour les FFP2 et 2 % pour les FFP3. Il existe différents modèles/formes d'APR : bec de canard, à plis, à coque moulée, parfois disponibles en plu-

sieurs tailles. Pour que la protection soit effective, il est indispensable de disposer d'un APR adapté au visage du porteur. Pour cela le choix doit être guidé par un essai d'ajustement (*fit test*) [4] réalisé pour différents modèles ou tailles de masques. Ce test est systématiquement réalisé dans d'autres pays, conformément aux recommandations [5 à 7]. Ceci implique que chaque établissement puisse proposer plusieurs modèles et/ou tailles de masque, une seule référence ne pouvant convenir aux différentes morphologies de visage des personnels, comme l'a montré une précédente enquête du Groupe d'étude sur le risque d'exposition des soignants aux agents infectieux (GERES) [8]. Les établissements de soins passent par l'intermédiaire de centrales d'achat. Dans le cadre des appels d'offre, actuellement les établissements ne retiennent, dans le cas général, qu'un seul modèle d'APR en une seule taille pour une classe FFP donnée. La Société française d'hygiène hospitalière (SF2H) a publié le 23 mars 2018 un avis

## APR utilisés dans les établissements de santé français dans le cadre des précautions « air » 2018

sur le choix et l'utilisation adaptés d'un APR de type FFP2, voire FFP3 dans certaines indications [9]. Cet avis a été élaboré par un groupe de travail suite à la survenue d'un cas de tuberculose résistante chez une soignante malgré la mise en place d'une procédure d'isolement « air » pendant toute la durée d'hospitalisation du patient, sans incident notable [10]. Les conditions d'utilisation d'un APR y sont rappelées, notamment les bonnes pratiques de port, et la nécessité de réaliser systématiquement un contrôle d'étanchéité (*fit-check*) avant chaque utilisation d'un APR pour en vérifier le bon positionnement. Il souligne également l'importance de réaliser en amont un essai d'ajustement (*fit-test*) et en précise ses modalités afin de pouvoir proposer des APR FFP2 adaptés à chacun. Il suggère que des tests d'ajustement pourraient être réalisés sur un échantillon de soignants, dans le cadre d'une étude multicentrique, pour préciser l'adéquation entre différents modèles ou tailles de masques et les différentes morphologies de visages. En effet, les données manquent pour guider les établissements dans le choix des modèles les plus adaptés et la généralisation des essais d'ajustement.

Face à cette problématique, une enquête préliminaire a ainsi été conduite en 2018 par le GERES, l'INRS et la SF2H, en lien avec la Direction générale de l'offre de soins (DGOS) et la Société de pathologie infectieuse de langue française (SPILF), en s'appuyant sur les réseaux SF2H et GERES, afin de recenser le plus exhaustivement possible les modèles et tailles d'APR de type FFP disponibles dans les établissements de santé dans le cadre des précautions complémentaires « air » et savoir si un essai d'ajustement était pratiqué.

### MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'enquête a été conduite de novembre 2018 à février 2019. Une page de présentation de l'enquête et le questionnaire d'enquête ont été mis en ligne sur le site du GERES. L'annonce de l'enquête avec mention des liens vers la page de présentation de l'enquête et le questionnaire a également fait l'objet d'une diffusion large en direction des équipes opérationnelles hygiène (EOH) et des médecins du travail des établissements de santé publics et privés, *via* différents réseaux : GERES, SF2H, centres d'appui pour la prévention des infections associées aux soins (CPIas), médecins du travail des hôpitaux (Centres de ressources informatiques de Haute-Normandie - CRIHAN-, Association nationale de médecine du travail et d'ergonomie du personnel des hôpitaux - ANMTEPH), SPILF.

La participation à l'enquête était volontaire et il était demandé de remplir un seul questionnaire par établissement. Les questionnaires ont été retournés au GERES à l'adresse e-mail indiquée, créée spécifiquement pour cette enquête.

### CRITÈRES D'INCLUSIONS

Tout établissement de santé public ou privé volontaire.

Tous les APR de type FFP (demi-masques jetables, filtrants anti-aérosols) mis à disposition dans le cadre des précautions « air ».

### DÉFINITIONS RETENUES

**Précautions « air »** : il s'agit des précautions complémentaires pour éviter la transmission aéroportée d'un agent infectieux à partir d'un porteur identifié, à des individus non infectés et non porteurs mais réceptifs [1].

**APR de type FFP** : il s'agit de demi-masque filtrant à usage unique répondant au règlement UE 2016/425 [11] et à la norme NF EN 149 +A1 [3]. Les filtres antiaérosols sont classés selon la norme en 3 classes d'efficacité croissante : FFP1, FFP2, FFP3. Les APR se présentent sous différentes formes/modèles : masques à plis, masques bec de canard, ou coques moulées. Certains modèles sont disponibles en plusieurs tailles. La référence de l'APR est la référence produit du fabricant ou du fournisseur.

**Essai d'ajustement ou *fit-test*** : c'est le test permettant de comparer différents modèles et tailles d'APR pour retenir celui garantissant le meilleur ajustement et donc la meilleure étanchéité au visage de la personne. Il peut être qualitatif (détection d'une odeur ou d'un goût) ou quantitatif (dispositif de comptage des particules dans le masque *vs* à l'extérieur). Le test quantitatif permet de calculer pour chaque individu un coefficient d'ajustement (plus le coefficient est élevé plus l'étanchéité du masque est importante). Les protocoles de ces tests demandent la réalisation d'une série d'exercices durant l'essai d'ajustement [4].

**Contrôle d'étanchéité ou *fit-check*** : c'est un test qualitatif appelé également « essai à pression négative » (Le principe du test repose sur une obturation de la surface filtrante avec les mains ou un film plastique : le masque tend à se plaquer sur le visage à l'inspiration si l'étanchéité est bonne) ou « essai à pression positive » (obturer la surface filtrante avec la paume de la main ou un film plastique et souffler dans le masque : si l'étanchéité est bonne, le masque bombe légèrement). Il doit être fait à chaque mise en place d'un APR, pour en vérifier l'étanchéité au visage.

## MODALITÉS DE RECUEIL DES DONNÉES

Le recueil des données a été conduit à l'aide d'un questionnaire sous forme d'un formulaire Word protégé, dont seuls les champs à renseigner étaient accessibles et actifs (annexe p. 74). Les données à documenter se rapportaient à l'établissement et à son organisation (statut de l'établissement, fonction de la personne ayant renseigné le questionnaire, service en charge des commandes de masques, réalisation d'essai d'ajustement) et aux APR mis à disposition dans l'établissement (modèles, noms, références et classes, nombre de tailles disponibles, fournisseurs, quantités commandées en 2017). Le nombre de lits d'hospitalisation complète des établissements participants a été extrait de la base 2018 de la statistique annuelle des établissements de santé (SAE) de la DREES (Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques) du ministère chargé de la Santé.

## SAISIE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données ont été centralisées, saisies et analysées par le GERES à l'aide du logiciel *Epidata 3.1* et du module d'analyse *Epidata Analysis V2.2.1.171*.

## RÉSULTATS

Deux cent soixante-sept questionnaires ont été reçus dans la période de l'enquête et, après élimination des doublons, 258 questionnaires se rapportant à autant d'établissements de santé ont été analysés. Le questionnaire a été documenté dans 67 % des cas par un membre de l'EOH et dans 22 % des cas par

un pharmacien. Le service qui commande le plus souvent les APR est la Pharmacie (53 % des établissements), les Achats-économats et le Magasin-lingerie venant ensuite dans 17 et 14 % des cas respectivement.

## CARACTÉRISTIQUES DES ÉTABLISSEMENTS PARTICIPANTS

La majorité des 258 établissements était de statut public (58 %, n = 149) et dans 50 % des cas un établissement de type Centre hospitalier ou Hôpital local. Le détail des statuts et types des établissements est renseigné dans le [tableau I](#). Ils étaient très majoritairement situés en province (91,1 %), l'Île de France et les Outre-mer représentant res-

pectivement 8,5 et 0,4 % des établissements. Un total de 116 960 lits d'hospitalisation complète (min. = 24 ; max. = 3 400 ; med. = 298) a été recensé dans les 250 établissements disposant de lits d'hospitalisation (8 structures ne comptabilisant aucun lit).

## LES APR DISPONIBLES DANS LES ÉTABLISSEMENTS DANS LA PÉRIODE DE L'ENQUÊTE

Deux cent quarante-neuf établissements ont mentionné disposer d'APR. La grande majorité des établissements (76 %, n = 195) ne disposait que d'une seule référence (en une seule taille). Le [tableau II, page suivante](#), présente la répartition des établissements selon le nombre d'APR différents disponibles (APR

### ↓ Tableau I

## > CARACTÉRISTIQUES DES 258 ÉTABLISSEMENTS PARTICIPANTS

		Établissements		Lits*	
			Nombre	Médiane [min-max]	
<b>Type</b>	CHU / CHR	17 (6,5 %)	26 947	1 690 [351 - 3 400]	
	CH / HL / HIA	129 (50 %)	71 060	450 [113 - 2 322]	
	Clinique MCO	32 (12,5 %)	5 940	174 [69 - 392]	
	SSR / SLD	43 (16,5 %)	5 655	98 [24 - 534]	
	CHS	18 (7 %)	5 743	281 [40 - 853]	
	EHPAD	7 (2,5 %)	1 000	113 [65 - 499]	
	CLCC	4 (1,5 %)	615	143,5 [101 - 227]	
	HAD / Centre de dialyse	8 (3,5 %)	/		
<b>Statut</b>	Public	149 (58 %)	98 766	474 [65 - 3 400]	
	ESPIC	32 (12,5 %)	5 206	146 [24 - 455]	
	Privé	75 (29 %)	12 374	135 [30 - 1 328]	
	Non renseigné	2 (0,5 %)			
<b>Total</b>		<b>258</b>	<b>116 960</b>	<b>298 [24 - 3 400]</b>	

\* Nombre de lits pour 250 établissements, 8 établissements ne comptabilisant aucun lit (7 centres de dialyse et une unité d'HAD), dont 3 de statut ESPIC et 5 de statut privé.

CHU : Centre hospitalier universitaire ; CHR : Centre hospitalier régional ; CH : Centre Hospitalier ; HL : Hôpitaux locaux ; HIA : Hôpital d'instruction des armées ; MCO : Médecine, chirurgie, obstétrique ; SSR : Soins de suites et réadaptation ; SLD : Soins de longue durée ; CHS : Centre hospitalier spécialisé ; EHPAD : Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes ; CLCC : Centre de lutte contre le cancer ; HAD : Hospitalisation à domicile ; ESPIC : Établissement de santé privé d'intérêt collectif.

## APR utilisés dans les établissements de santé français dans le cadre des précautions « air » 2018

↓ Tableau II

### > RÉPARTITION DES 258 ÉTABLISSEMENTS SELON LE NOMBRE D'APPAREILS DE PROTECTION RESPIRATOIRE (APR) DIFFÉRENTS DISPONIBLES

	Établissements		
	Nombre		%
Nombre d'APR différents	0	9	3,5
	1	195	75,6
	2	41	15,9
	3	12	4,7
	4	1	0,4

↓ Tableau III

### > RÉPARTITION DES 249 ÉTABLISSEMENTS DISPOSANT D'APPAREILS DE PROTECTION RESPIRATOIRE (APR) SELON LES CLASSES D'APR DISPONIBLES

Nombre de classes	Classe de performance	Établissements : n (%)
1 classe d'APR (n = 214 ; 86 %)	FFP1	2 (0,8)
	FFP2	210 (84,3)
	FFP3	1 (0,4)
	N95 *	1 (0,4)
2 classes d'APR (n = 32 ; 13 %)	FFP1 – FFP2	13 (5,2)
	FFP2 – FFP3	17 (6,8)
	FFP2 - N95	2 (0,8)
3 classes d'APR (n = 3 ; 1 %)	FFP1 – FFP2 – FFP3	3 (1,2)

\* APR répondant à une certification par le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) et ayant des caractéristiques proches de celles des FFP2, le « N » indiquant « ne résiste pas à l'huile » et le « 95 » un taux d'efficacité de filtration de 95 %.

de classes FFP différentes ainsi que modèles différents dans une même classe).

Le **tableau III** présente la répartition des établissements selon les classes d'APR disponibles dans les 249 établissements disposant de ces appareils. Quatre-vingt-six pour cent (214/249) des structures ne disposent que d'une seule classe de performance. Cependant, des APR de type FFP2 sont présents dans la plupart des structures (97 %, 242/249). Neuf établissements ont indiqué ne pas disposer d'APR (1 clinique, 1 centre hospitalier spé-

cialisé en psychiatrie et 7 SSR) et 2 structures de type SSR uniquement un APR de classe FFP1.

Les 3 modèles de masques étaient retrouvés : coquille, bec de canard et masque à plis. Le modèle d'APR le plus fréquemment retrouvé (dans 75,5 % des établissements) était celui type bec de canard, suivi du modèle à plis (27 % des établissements) puis du modèle coquille (6,4 % des établissements).

Au total, 317 APR ont été répertoriés, sachant qu'un hôpital peut disposer de plusieurs modèles d'APR. Le **tableau IV** indique la fréquence respective des différents modèles d'APR commandés et le nombre de références différentes par modèle. Vingt-deux fournisseurs (fabricants et distributeurs) et 67 références différentes d'APR (20 données manquantes) ont été recensés. Seuls 9 % des APR (6/67) étaient disponibles en au moins 2 tailles différentes.

### LES COMMANDES D'APR PAR LES ÉTABLISSEMENTS EN 2017

Cent quatre-vingt-seize établissements ont renseigné des commandes d'APR pour l'année 2017 pour un total de 1 809 340 unités. Seize établissements n'ont pas renseigné leurs commandes et 46 n'ont pas commandé d'APR en 2017. La répartition des commandes d'APR selon la classe et le modèle de l'APR est présentée dans le **tableau V**. Les APR de classe FFP2 et les modèles bec de canard représentaient la plus grande part des commandes, soit 85 % et 90 % respectivement du total des unités commandées.

### RÉALISATION D'ESSAI D'AJUSTEMENT (FIT-TEST)

Parmi 253 établissements ayant renseigné cet item, la réalisation d'essai d'ajustement dans l'établis-

sement a initialement été mentionnée par 40 établissements. Une vérification auprès des correspondants de chacun de ces 40 établissements a été conduite et un seul a confirmé ce point. Dans les 39 autres établissements il y avait confusion : c'était en fait un *fit-check* (contrôle d'échanchéité) et non pas un *fit-test* (essai d'ajustement) qui était réalisé.

## DISCUSSION


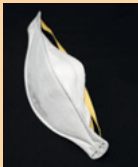
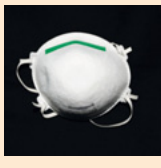
Deux cent cinquante-huit établissements de santé ont participé à l'enquête conduite sur la base du volontariat dans une période de 4 mois, soit environ 8 % des établissements français (Métropole, DOM et ROM), estimés à un peu plus de 3 000 et comptant 400 000 lits d'hospitalisation [12]. Les 250 établissements participants disposant de lits en totalisaient 116 960, soit environ 29 % des lits d'hospitalisation, ce qui traduit une participation préférentielle de structures de taille importante à l'enquête.

Les unités d'hygiène et les services de pharmacie des établissements sont des relais importants sur les questions de choix et de gestion des APR dans les établissements de santé. Ainsi, en termes d'organisation autour des APR, dans plus de la moitié des cas, le questionnaire d'enquête a été renseigné par un membre de l'EOH et la Pharmacie était en charge de la commande des APR.

Si 40 établissements avaient déclaré réaliser un essai d'ajustement, après vérification, un seul a confirmé ce point, un *fit-check* (contrôle d'étanchéité) étant en fait réalisé dans les autres établissements. La connaissance de ces tests de vérification de l'ajustement de l'APR au visage, qui sont complémentaires,

↓ Tableau IV

➤ FRÉQUENCE RESPECTIVE DES DIFFÉRENTS MODÈLES D'APPAREILS DE PROTECTION RESPIRATOIRE (APR) PARMI L'ENSEMBLE DES APR COMMANDÉS

Modèle	Fréquence parmi l'ensemble des APR commandés : n (%)	Nombre de références différentes*
<b>Bec de canard</b> 	222 (70,0)	42 (14 données manquantes)
<b>À plis</b> 	79 (25,0)	16 (2 données manquantes)
<b>Coquille</b> 	16 (5,0)	9 (4 données manquantes)
<b>Total</b>	317 (100)	67 (20 données manquantes)

© Gaël Kerbaol

\* Une même référence peut être utilisée dans plusieurs établissements

↓ Tableau V

➤ RÉPARTITION DES COMMANDES D'APPAREILS DE PROTECTION RESPIRATOIRE (APR) SELON LA CLASSE ET LE MODÈLE DE L'APR (N= 196 ÉTABLISSEMENTS)

Classe	Unités commandées, n (%)
FFP1	244 935 (13,5)
FFP2	1 530 814 (84,7)
FFP3	33 591 (1,8)
<b>Total</b>	<b>1 809 340</b>
Modèle	Unités commandées, n (%)
Coquille	29 714 (1,6)
À plis	143 097 (8,0)
Bec de canard	1 636 539 (90,4)
<b>Total</b>	<b>1 809 340</b>

et de leurs indications respectives n'est pas toujours bonne. L'essai d'ajustement est un test précis, qui permet en amont de sélectionner le modèle de masque qui convient pour chaque individu, en fonction de sa morphologie. Ce test est

réalisé selon des protocoles précis nécessitant un matériel spécifique, décrits dans un guide INRS [4]. Le *fit-check* (contrôle d'étanchéité) doit être réalisé par le personnel à chaque fois qu'il est amené à porter un APR, pour en vérifier son bon

ajustement au visage avant d'entrer dans la chambre du patient.

Des APR sont disponibles dans 249 des 258 établissements participants, qui sont de type FFP2 dans plus de 97 % des cas. Ce choix est en accord avec les recommandations « air » de la SF2H [1], indiquant que « le choix du FFP2 est une exigence minimale, le FFP1 n'apportant en situation réelle qu'une faible protection ».

Si 214 établissements ont indiqué ne disposer que d'une seule classe d'APR, c'était pour la plupart (n = 210) un APR FFP2.

Quelques établissements (n=21) ont mentionné disposer de FFP3, plus performants et recommandés dans des indications très spécifiques (un établissement ne disposait que de FFP3). Deux établissements ont indiqué ne disposer que de FFP1 et 3 ne disposer que de N95, APR répondant à une certification par le NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) et ayant des caractéristiques proches de celles des FFP2, le « N » indiquant « ne résiste pas à l'huile » et le « 95 » un taux d'efficacité de filtration de 95 %. Deux établissements ont indiqué disposer de FFP2 et de N95. Tant le FFP1 que le N95 ne correspondent pas aux APR recommandés dans le cadre des précautions « air ». Les 9 établissements ne disposant pas d'APR sont des établissements peu exposés au risque de tuberculose, même si ce dernier n'est pas nul.

Un total cumulé de 317 APR a été recensé dans les 249 établissements. Si les 3 modèles d'APR étaient représentés (coquille, bec de canard et à plis), le modèle bec de canard était le plus fréquemment retrouvé dans 70 % des cas (222/317). Soixante-sept références différentes ont été identifiées (20 données manquantes) et seules 6 références étaient disponibles en



## APR utilisés dans les établissements de santé français dans le cadre des précautions « air » 2018

2 tailles différentes. La majorité des établissements (76 %) ne disposait que d'un seul modèle d'APR en une seule taille, impliquant pour les personnels l'absence de choix entre plusieurs formes ou tailles d'APR, ce qui est susceptible de conduire à des défauts d'ajustement et donc une protection insuffisante ; en effet, un seul APR ne peut, dans le cas général, convenir à toutes les formes de visages des personnels dans un établissement.

Il faut noter qu'il persiste, au sein de certains établissements, des confusions entre APR et masque médical/chirurgical/de soins et entre APR FFP filtrant les aérosols et APR filtrant les gaz.

Près de 22 fournisseurs (fabricants ou distributeurs) ont été identifiés et, pour un même APR, la référence du produit, pour un même modèle, pouvait varier selon le canal de distribution (fabricant, fournisseur) et selon les marchés, publics ou privés. Le nombre important de sociétés présentes sur ces marchés, de produits différents commercialisés et la variabilité des références pour un même produit ont rendu difficile le recensement et l'identification des APR disponibles dans les établissements.

Des remarques ont été formulées par certains établissements sur la nécessité de consulter des soignants dans le cadre de la rédaction du cahier des charges des appels d'offres et de disposer de critères de choix des APR pour aider à la décision. Il faut également mentionner que des établissements ont signalé être en cours d'acquisition de références ou de tailles supplémentaires d'APR.

L'échantillon des établissements de santé participants, recrutés sur la base du volontariat et probablement plus sensibilisés à la problématique de choix des APR en regard des risques infectieux

aéroportés, ne peut prétendre être représentatif de l'ensemble des établissements de santé.

Cette enquête doit être complétée par un deuxième volet en direction des fournisseurs d'APR, visant à recenser les modèles d'APR qu'ils proposent aux établissements de santé.

Une étude complémentaire sur les méthodes d'évaluation de l'ajustement de ces APR tenant compte de critères morphologiques est conduite en laboratoire de recherche à l'INRS sur un panel de « sujets-test », afin de préciser éventuellement certaines préconisations. Dans une étape ultérieure, une étude de terrain est envisagée dans des établissements de santé volontaires, qui comporterait notamment la réalisation d'essai d'ajustement chez des soignants. La finalité est de mieux définir les caractéristiques des APR que le GERES pourrait référencer dans sa base de données des matériels de protection. L'objectif serait également de conseiller les établissements sur les méthodes d'ajustement les plus appropriées à mettre en place dans ce secteur, ainsi que leurs modalités de réalisation. Au-delà des milieux de soins, les résultats pourraient être valorisés en direction d'autres secteurs d'activité dans lesquels les APR sont utilisés.

## CONCLUSION

Les APR disponibles dans les établissements de soins étudiés sont à 97 % conformes aux recommandations qui entrent dans le cadre des précautions « air ». Cependant, la grande majorité des établissements ne disposent que d'un seul modèle d'APR en une seule taille, ce qui ne convient vraisemblablement pas à toutes les formes de

visages des personnels amenés à le porter. Le processus d'appels d'offres pour les APR est en cours de révision, par certaines centrales d'achat, pour prendre en compte les recommandations récentes de la SF2H concernant les APR et faire en sorte que le marché propose plusieurs types d'APR en différentes tailles aux établissements.

La réalisation systématique d'essai d'ajustement individuels à l'échelle de l'établissement implique une logistique et des coûts associés (achat d'appareillage, formation et mobilisation de personnels pour la réalisation des tests). La mise en place de ces procédures est compliquée, ce d'autant que la plupart des établissements ne dispose actuellement que d'un seul modèle d'APR en une seule taille. Des études complémentaires apparaissent nécessaires afin de proposer des pistes pour simplifier la procédure de choix des APR, notamment en fonction de critères morphologiques de visages.

### REMERCIEMENTS :

- aux établissements participants ; à la SF2H, la SPILF, la DGOS et aux CPias, pour leur soutien méthodologique ou leur contribution à la mise en place de l'enquête ;
- à l'INRS, pour sa participation au Comité de pilotage et son soutien à l'enquête ;
- aux fournisseurs qui ont contribué à renseigner les données manquantes.

## POINTS À RETENIR

- Une enquête sur le type d'appareils de protection respiratoire (APR) mis à disposition dans les établissements de santé, dans le cadre des précautions « air », a recueilli une participation satisfaisante.
- La grande majorité des établissements ne disposait que d'un seul modèle d'APR en une seule taille.
- Des APR FFP2 étaient présents dans la plupart des établissements et représentaient l'essentiel des commandes d'APR conformément aux recommandations.
- Des établissements étaient en cours d'acquisition de références ou tailles supplémentaires d'APR.
- L'essai d'ajustement ou *fit-test*, permettant d'évaluer l'ajustement de l'APR à la forme du visage, n'est quasiment pas réalisé dans les établissements.
- Il y a confusion entre essai d'ajustement (*fit-test*) et contrôle d'étanchéité (*fit-check*), lequel permet de vérifier que l'APR est bien étanche au moment de son usage.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Recommandations nationales. Prévention de la transmission croisée par voie respiratoire : air ou gouttelettes. Recommandations pour la pratique clinique. Société Française d'Hygiène Hospitalière (SF2H), 2013 (<https://www.sf2h.net/publications/prevention-de-transmission-croisee-voie-respiratoire-air-gouttelettes>).
- 2 | GEHANNON JF, ABITEBOUL D, ROLLIN L - Incidence of tuberculosis among nurses and healthcare assistants in France. *Occup Med* (Lond). 2017 ; 67 (1) : 58-60.
- 3 | Appareils de protection respiratoire. Demi-masques filtrants contre les particules. Exigences, essais, marquage. Norme française homologuée NE EN 149 + A1. Septembre 2009. Indice de classement S 76-014. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2009 : 36 p.
- 4 | CHAZELET S, GUIMON M - Protection respiratoire. Réaliser des tests d'ajustement. Aide-mémoire technique. Édition INRS ED 6273. Paris : INRS ; 2016 : 17 p.
- 5 | Choix, utilisation et entretien des appareils de protection respiratoire. 4<sup>e</sup> édition. Mississauga : Association canadienne de normalisation (Groupe CSA) ; 2012 : 108 p.
- 6 | JENSEN PA, LAMBERT LA, IADEMARCO MF, RIDZON R ET AL - Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in health-care settings, 2005. *MMWR Recomm Rep*. 2005 ; 54 (RR-17) : 1-141.
- 7 | Operational Circular 282/28. Fit testing of respiratory protective equipment facepieces. Version n° 6. Health and Safety Executive (HSE), 2012 ([https://face-fit.co.uk/wp-content/uploads/2016/03/282\\_28.pdf](https://face-fit.co.uk/wp-content/uploads/2016/03/282_28.pdf)).
- 8 | CIOTTI C, PELLISSIER G, RABAUD C, LUCET JC ET AL - Effectiveness of respirator masks for healthcare workers, in France. *Méd Mal Infect*. 2012 ; 42 (6) : 264-69.
- 9 | Avis n° 2018-01/SF2H du 23 mars 2018 relatif au choix et à l'utilisation adaptée d'un appareil de protection respiratoire. Société française d'hygiène hospitalière (SF2H), 2018 (<https://sf2h.net/publications/avis-n-2018-01-sf2h-du-23-mars-2018-relatif-au-choix-et-a-l'utilisation-adaptee-dun-appareil-de-protection-respiratoire>).
- 10 | APPELGREN A, MORQUIN D, DUFOUR S, LE MOING V ET AL - Investigation of pre-XDR Beijing Mycobacterium tuberculosis transmission to a healthcare worker in France, 2016. *J Hosp Infect*. 2017 ; 97 (4) : 414-17.
- 11 | 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. In: EUR-Lex. Union européenne, 2016 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0425>).
- 12 | Les établissements de santé. Édition 2019. Panoramas de la DREES Santé. Ministère chargé de la Santé, 2019 (<https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/etudes-et-statistiques/publications/panoramas-de-la-drees/article/les-etablissements-de-sante-edition-2019>).

# ANNEXE 1 Questionnaire utilisé pour l'enquête



## Fiche de recensement des appareils de protection respiratoire (APR) dans le cadre des précautions « AIR » (Merci de documenter 1 seul questionnaire par établissement)

Etablissement : *Indiquer le nom de l'hôpital et l'adresse postale*

Statut : Privé  Public  Privé participant au service public

Fiche documentée par : *Nom/prénom* Fonction : *Préciser* Téléphone : *Préciser*

Référencer **UNIQUEMENT** les masques de protection respiratoire (FFP1, FFP2, FFP3), pas les masques chirurgicaux, 1 référence par ligne

Modèle APR	Fabricant <sup>1</sup> (nom et coordonnées)	Nom – référence APR <sup>2</sup>	Classe APR	Nombre de taille(s) disponibles	Unités commandées 2017
Cliquer	<i>Préciser</i>	<i>Préciser</i>	Cliquer	Cliquer	<i>Préciser</i>
Cliquer	<i>Préciser</i>	<i>Préciser</i>	Cliquer	Cliquer	<i>Préciser</i>
Cliquer	<i>Préciser</i>	<i>Préciser</i>	Cliquer	Cliquer	<i>Préciser</i>
Cliquer	<i>Préciser</i>	<i>Préciser</i>	Cliquer	Cliquer	<i>Préciser</i>
Cliquer	<i>Préciser</i>	<i>Préciser</i>	Cliquer	Cliquer	<i>Préciser</i>
Cliquer	<i>Préciser</i>	<i>Préciser</i>	Cliquer	Cliquer	<i>Préciser</i>

1- Si vous n'avez pas les coordonnées du fabricant merci d'indiquer les coordonnées de votre fournisseur (adresse, mail, Tel, site Web)

2- Nom et/ou Référence figurant sur la boîte

Quel service commande ces masques dans votre établissement :

Lingerie  Pharmacie  Service clinique  Equipe Hygiène   Autre : *Préciser*

Réalisez vous des tests d'ajustement type « Fit Test » ? (et non « Fit Check ») :  Oui  Non

Commentaires : *Indiquer vos remarques concernant les modèles disponibles, les difficultés rencontrées ...*

Les données personnelles recueillies ont pour unique objet de pouvoir vous recontacter pour complément d'information. En aucun cas elles ne seront transmises à des tiers ou exploitées à des fins commerciales. Le traitement statistique des fiches sera strictement anonyme.  
Pour toute question vous adresser à M. Gérard PELLISSIER au GERES : gerard.pellissier@geres.org

Enquête INRS / GERES 2018

# Consommations (avec ou sans produits) et milieux professionnels : quelle prévention en 2019 ?

Colloque de la Société française de médecine du travail (SFMT). Paris, 20 septembre 2019



## EN RÉSUMÉ

Cette journée de la Société française de médecine du travail (SFMT), qui portait sur la prévention des conduites addictives, a présenté les politiques publiques de prévention et les apports de la cohorte Constances. La place du dépistage dans la démarche de prévention, le repérage précoce et l'intervention brève (RPIB)... ont également été abordés.

### AUTEURS :

P. Chaussarot (interne en médecine du travail), P. Hache, A. Schaller, B. Siano, département Études et assistance médicales, INRS

### MOTS CLÉS

Addiction /  
Dépistage /  
Substance  
psychoactive /  
Toxicomanie

### LE PLAN NATIONAL DE MOBILISATION CONTRE LES ADDICTIONS 2018-2022 : LA PLACE DE L'ENTREPRISE

*P. Coursault, Mission interministérielle de lutte contre les drogues et les conduites addictives (MILDECA).*

Placée sous l'autorité du Premier ministre, la MILDECA anime, coordonne l'action du Gouvernement en matière de lutte contre les drogues et les conduites addictives et élabore la stratégie gouvernementale, notamment en ce qui concerne la santé, la recherche, la prévention, la police, la justice, la lutte contre les trafics et la coopération internationale. Le plan national de mobilisation contre les addictions 2018-2022 s'articule autour de 6 axes, 19 priorités et comprend 200

mesures. C'est dans l'axe 1 « Une prévention pour tous et tout au long de la vie » que se décline la stratégie gouvernementale de prévention en milieu de travail au moyen de 5 objectifs : améliorer les connaissances et les compétences des acteurs du monde du travail dans le domaine des addictions avec, notamment, la consolidation du rôle des acteurs de la santé au travail par la généralisation du repérage précoce et de l'intervention brève (RPIB) et leur implication dans la mise en place de démarches de prévention collective en lien avec les services de ressources humaines ; mettre en place des mesures ciblées pour des secteurs ou des catégories professionnelles particulièrement exposés aux conduites addictives ; encourager les expériences permettant de lutter contre la désinsertion professionnelle en lien avec les conduites

## Consommations (avec ou sans produits) et milieux professionnels : quelle prévention en 2019 ?

addictives ; réduire les accidents du travail en lien avec la consommation de substances psychoactives ; sensibiliser les acteurs de formation professionnelle des jeunes.

Les enjeux globaux du plan concernent à la fois l'une des premières causes de mortalité, les conséquences dommageables pour la société, les niveaux de consommation qui restent élevés, le coût élevé pour la société, une consommation importante chez les jeunes et des niveaux de consommation importants chez les salariés (28 % fument régulièrement, 18,6 % ont eu un épisode d'alcoolisation ponctuelle dans le mois, 9,6 % ont consommé du cannabis dans l'année et 16,7 % ont consommé des médicaments psychotropes). Les enjeux spécifiques pour l'entreprise sont au nombre de quatre : contribuer à décloisonner la santé au travail et la santé publique, réduire les facteurs de risques professionnels des consommations de substances psychoactives et des addictions comportementales, développer une véritable politique de prévention pour tous les salariés, promouvoir un environnement de travail protecteur. Face à ces enjeux, des actions ont été mises en œuvre, notamment une formation de formateurs pour les médecins du travail et de prévention ainsi que les infirmiers de santé au travail. Cette formation vise à acquérir les connaissances nécessaires pour développer un argumentaire sur l'intérêt de concevoir une démarche globale de prévention en milieu professionnel et à animer des séances de formation sur la prévention. Les autres actions concernent, entre autres, le développement du portail Addict'aide, le développement de la recherche, avec notamment, les travaux de la cohorte Constances, et l'organisation de journées nationales de prévention.

### APPORT DE LA COHORTE CONSTANCES SUR LA CONNAISSANCE DES CONDUITES ADDICTIVES EN MILIEU DE TRAVAIL

*G. Airagnes, Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), Paris.*

Les conduites addictives constituent un enjeu prioritaire de santé publique (1<sup>re</sup> cause de mortalité évitable, 1<sup>re</sup> cause d'hospitalisation), alors que moins de 10 % des patients bénéficient d'une prise en charge médicale. La cohorte Constances est constituée de plus de 200 000 personnes volontaires affiliées au régime général de la Sécurité sociale et âgées de 18 à 69 ans. Ces personnes bénéficient d'un suivi annuel par questionnaire et d'un examen de santé standardisé tous les 4 ans. Par ailleurs, un suivi passif est réalisé par appariement annuel avec les bases, entre autres, du SNDS (Système national des données de santé) et de la Caisse nationale d'assurance vieillesse (CNAV). Par questionnaires sont évalués les usages d'alcool, de cannabis, de tabac et de benzodiazépines (BZD). Cette dernière donnée est croisée avec les données du Système national d'information inter régimes de l'Assurance maladie (SNIIRAM).

Les données de la cohorte Constances ont montré que les situations stressantes chez les salariés en contact quotidien avec le public sont associées à une augmentation des consommations d'alcool, de tabac et de cannabis. Dans le cas des boissons alcoolisées, cette surconsommation se traduit chez l'homme sous forme d'épisodes d'alcoolisation paroxystique intermittente et, chez la femme, sous forme d'une augmentation de la consommation hebdomadaire. De même, l'exposition stressante au

public augmente significativement l'usage chronique de benzodiazépines. Par ailleurs, il existe une relation dose dépendante sur le risque de perte d'emploi à un an et l'usage d'alcool, de tabac et de cannabis.

Pour G. Airagnes, l'implication des professionnels de la santé au travail est essentielle dans le repérage précoce des conduites addictives, dans la réalisation d'interventions brèves et dans la prévention des risques psychosociaux.

### TESTS DE DÉPISTAGE ACTUELLEMENT DISPONIBLES : CARACTÉRISTIQUES ET LIMITES

*E. Szwarc-Tracqui, Organisme pour la prévention des risques professionnels et de la santé au travail en Franche-Comté (OPSAT).*

Dans le milieu professionnel, l'intoxication éthylique reste la problématique la plus importante. Les méthodes de dépistage disponibles sont principalement biologiques. Une augmentation des Gamma GT, des CDT (*Carboxy Deficient Transferrin*), ou encore une macrocytose, peuvent signer une intoxication éthylique chronique. Cependant, les cinétiques de ces marqueurs sont différentes et les étiologies de ces perturbations diverses. L'utilisation d'un autre indicateur biologique, le phosphatidyléthanol sanguin (Peth) se développe. Sa cinétique d'apparition se situe entre 2 à 3 semaines après la dernière consommation d'alcool et son absence du milieu sanguin signe une abstinence. Sa sensibilité se situe entre 86 et 95 %, tandis que sa spécificité est de 100 %. En cas de prélèvement, le Peth est peu stable et le prélèvement doit être transféré sur buvard.

Une autre problématique en santé

au travail est l'usage du cannabis, consommé sous différentes formes, avec des teneurs en THC (tétrahydrocannabinol) variables. Les effets apparaissent sans seuil, en quelques minutes, et le THC est détectable entre 6 à 12h après la prise en milieu sanguin. Il possède des propriétés liposolubles, et des relargages de substances sont ainsi fréquents. Les méthodes de dépistage salivaires demandent une interprétation prudente en raison notamment du risque de résultat faussement positif. La confirmation se fait par dosage sanguin.

Globalement, pour le dépistage des substances psychoactives (SPA), il existe différents prélèvements possibles, avec des fenêtres de détection variables : moins de 8 heures dans le sang et la salive, entre 3 et 4 jours dans les urines et plusieurs semaines voire mois dans les poils et les cheveux. Le sang permet une interprétation quantitative là où les urines sont une méthode de dépistage uniquement qualitative. Les tests salivaires actuellement disponibles sont eux moins fiables, un prélèvement sanguin est alors indispensable. Les cheveux permettent une analyse rétrospective mais peu précise. Le recueil sur plusieurs jours par patch de la sueur est peu utilisé. Le dépistage des stupéfiants par analyse de l'air expiré est une nouvelle approche encore au stade de développement.

Un test de dépistage doit répondre à plusieurs critères de spécificité, sensibilité, robustesse, simplicité, exhaustivité rapidité et faible coût. Une première stratégie de dépistage est l'utilisation d'une méthode qualitative par méthodes non séparatives immuno-enzymatiques. Or, si les tests actuels sont simples et rapides, ils posent des problèmes de spécificité et de sensibilité. Une confirmation quantitative par dosage au moyen de méthodes

séparatives par chromatographie est nécessaire. Ces méthodes ont l'avantage d'être exhaustives, sensibles et spécifiques mais leur coût est plus important et l'usage moins simple.

Pour conclure, il est intéressant pour le médecin du travail de se tenir au courant des avancées techniques dans le domaine des tests de dépistage car ce sont des outils à sa disposition. Maîtriser ces données permet notamment de donner des éléments de réponse à l'employeur s'interrogeant sur les mesures de dépistage des SPA.

## **CONSOMMATION DE SUBSTANCES PSYCHOACTIVES (SPA) ET TRAVAIL : PROBLÉMATIQUES DU MÉDECIN DU TRAVAIL AUTOUR DU DÉPISTAGE ET DE L'ACCOMPAGNEMENT DU SALARIÉ**

*S. Fantoni, Centre hospitalier régional et universitaire, Lille.*

Pour le médecin du travail, la problématique autour de la consommation de SPA est de savoir si le salarié est sous l'effet d'une consommation et en capacité de tenir son poste. Les tests de dépistage peuvent être une aide mais ne permettent pas de saisir l'enjeu global individuel et collectif autour de cette problématique.

De manière générale, un entretien individuel doit toujours précéder un éventuel dépistage biologique. Cet entretien peut s'appuyer sur l'utilisation de questionnaires validés comme l'AUDIT ou le FACE complétée par un examen médical complet. Il doit permettre une évaluation de la nature, de la gravité et des conséquences d'une consommation. S'il le juge nécessaire, le médecin du travail a le droit de

procéder à un test biologique de dépistage. La prescription d'un examen complémentaire ne peut être contrainte ou limitée tant qu'il permet de répondre à la question de la compatibilité entre la santé du salarié et l'aptitude à son poste de travail ou le dépistage d'une affection dangereuse pour l'entourage professionnel (article R. 4624-35 du Code du travail). Cependant, hors réglementation particulière, il ne paraît pas pertinent de procéder à des tests de dépistage biologique de manière systématique, y compris pour des postes de sûreté et de sécurité. Lorsqu'il existe un règlement intérieur, ou lorsque l'employeur définit une liste de postes présentant des risques particuliers, le médecin du travail reste libre de prescription et doit garder son indépendance professionnelle. De même, un règlement intérieur ne peut imposer à un infirmier d'entreprise de réaliser un test salivaire. Cependant, l'employeur peut adresser un salarié au médecin du travail, mais doit alors en expliciter la raison, cette information appartenant aussi au dossier médical en santé au travail du salarié.

De plus, le médecin du travail est soumis au secret professionnel. Dans l'hypothèse de la prescription d'un test biologique, il doit s'assurer de la confidentialité du circuit de cet examen y compris les résultats mais aussi la facturation. Le test de dépistage biologique reste donc un outil pour aider le médecin à conclure sur un éventuel aménagement du poste de travail, des réserves ou des restrictions. Avant sa réalisation, une information claire et loyale doit être donnée à chaque salarié, ce dernier pouvant refuser de se soumettre à cet examen. Il est donc essentiel pour le médecin de peser l'intérêt à réaliser un test biologique de dépistage avant de le proposer. Si un travailleur refuse

## Consommations (avec ou sans produits) et milieux professionnels : quelle prévention en 2019 ?

l'examen, deux possibilités existent alors pour le médecin du travail : avertir l'employeur que le salarié n'a pas respecté les contraintes liées à la visite médicale, ou émettre des réserves sur l'aptitude au poste de travail. La prise en charge du salarié après un dépistage positif doit être globale et pluridisciplinaire si une addiction existe, avec pour but un maintien dans l'emploi. Cependant, une situation individuelle doit faire explorer les facteurs de risque collectifs de consommations et les actions en milieu du travail qui peuvent en résulter.

Pour conclure, le rôle du médecin du travail répond aux règles générales de la déontologie ; il doit garder son indépendance et préserver le secret professionnel. Un dépistage biologique ne doit pas être seul pris en compte. Les obligations de l'employeur et du médecin du travail se complètent pour concilier contrôle et prévention.

### ADDICTIONS COMPORTEMENTALES ET NOUVELLES TECHNOLOGIES EN CONTEXTE PROFESSIONNEL : QUELS LIENS ?

*D. Lever, Centre hospitalier universitaire, Brest*

Les nouvelles technologies d'information et de communication (NTIC) recouvrent l'ensemble des outils et techniques utilisant des données numériques et permettant une communication efficace. Elles ont connu un développement massif et rapide, entraînant une accélération de l'usage des outils et de la diffusion de l'information. Ainsi, les NTIC ont modifié la communication, la production, la prise de décision et impactent la vie personnelle et professionnelle. Les NTIC entraînent une disponibilité immédiate de

l'information, la modification du délai de réponse et la rupture des repères temporels et spatiaux. Elles provoquent un déphasement des limites entre vie privée et vie professionnelle soit par la sollicitation du travail sur les temps de repos ou à l'inverse un usage personnel des NTIC au travail. Ces modifications engendrent de nouveaux risques : l'information non désirée, les interruptions de tâches, la confusion entre l'urgence et l'importance mais aussi un risque d'addictions par l'activation du système de récompense dopaminergique.

D'une part, l'addiction au travail ou workaholisme peut être définie d'après les critères de Goodman comme l'échec de contrôle d'un comportement et sa poursuite malgré les conséquences négatives qui en résultent. Elle concernerait de 8 à 13 % des actifs selon différentes études internationales. L'addiction au travail peut résulter de la convergence de contraintes internes à l'individu, une faible satisfaction au travail et une implication forte. Les conséquences de cette addiction sont l'envahissement cognitif et une souffrance au travail. Les risques associés sont le développement de troubles anxio-dépressifs, d'une co-addiction et les risques psychosociaux (RPS) ; avec d'importantes conséquences extra-professionnelles. D'autre part, les addictions comportementales propres aux NTIC dépendent aussi de facteurs personnels, comme une faible estime de soi ou la recherche de reconnaissance. Elles sont aussi liées à la porosité entre vie privée et vie professionnelle renforcée par la vision sociétale du travail, du statut social et la valorisation de la performance. Un facteur semble protecteur : l'extraversion, c'est-à-dire le collectif de travail.

La prise en charge de ces addictions commence en premier lieu au

repérage, par l'entretien clinique et l'utilisation de questionnaires adaptés (*WART* ou *WorkBAT*). Il est important de préciser la cyberdépendance pouvant masquer une autre addiction comportementale. L'orientation du salarié en consultation d'addictologie (exemple : CSAPA) est recommandée ainsi que l'aménagement du poste de travail si nécessaire. La prise en charge est multidisciplinaire, bio-psycho-sociale, reposant principalement sur des thérapies cognitivo-comportementales. L'objectif principal est le maintien dans l'emploi et nécessite une restructuration cognitive, un travail sur les représentations du travail et de soi. Des axes de réflexion sur la prévention se développent tels que des actions éducatives sur l'individu ou encore la sensibilisation, la formation de conduite au changement et le respect au travail d'un contexte collectif favorable. Depuis 2017, la question du droit à la déconnexion est à aborder obligatoirement lors des négociations annuelles sur la qualité de vie au travail. Il peut revêtir la forme d'un accord, d'une charte... Ce peut être, par exemple, la fermeture des serveurs de messagerie durant le week-end. La prévention des risques psychosociaux en lien avec les NTIC doit se faire avec le management de proximité.

### DÉMARCHE COLLECTIVE DE PRÉVENTION, RÔLE DE L'ÉQUIPE PLURIDISCIPLINAIRE COORDONNÉE PAR LE MÉDECIN POUR CONSEILLER L'ENTREPRISE

*P. Hache, Institut national de recherche et de sécurité (INRS).*

Depuis 2011, le service de santé au travail a pour mission de conseiller l'employeur, les salariés et leurs

représentants afin de prévenir la consommation d'alcool et de drogue sur le lieu de travail. La connaissance de la réglementation, l'étude de la bibliographie, l'échange avec les pairs et les addictologues, une bonne connaissance de l'entreprise et le suivi individuel des travailleurs sont les bases sur lesquelles l'équipe pluridisciplinaire peut s'appuyer pour élaborer ses conseils.

Il est recommandé que la démarche de prévention des pratiques addictives en milieu de travail se construise dans un esprit de concertation et d'accompagnement et non de stigmatisation ou de dépression.

La première étape est l'inscription du risque lié aux pratiques addictives dans le document unique (DU). En effet, des facteurs liés au travail peuvent favoriser les consommations de SPA, celles-ci pouvant porter atteinte à la santé et à la sécurité des salariés. Ainsi, l'entreprise va mettre en œuvre l'ensemble de ses moyens pour la prévention des conduites addictives. Il est utile de rappeler que l'évaluation par l'employeur du risque lié aux boissons alcoolisées sur le lieu de travail est obligatoire (article R. 4228-20 du Code du travail).

Il est conseillé qu'un groupe de travail pluridisciplinaire soit créé, comprenant l'employeur ou son représentant, le service des ressources humaines, les représentants du personnel et les membres du service de santé au travail. Il est recommandé que ce dernier ne soit pas pilote du groupe mais reste dans son rôle de conseiller. Les objectifs du groupe de travail sont d'établir un état des lieux de la problématique, d'élaborer et de programmer les actions de prévention adaptées à l'ensemble des travailleurs de l'entreprise quelle que soit leur catégorie socio-professionnelle. De même, une procédure « Trouble du comportement » est à

définir, comprenant notamment la prise systématique d'un avis médical. S'ensuivent l'information et la communication au sein de l'entreprise sur ces actions. Au préalable, il est nécessaire que le groupe de travail suive une formation sur les pratiques addictives (les différents niveaux de consommations et leurs origines, les principes de prévention, les bases de la réglementation...).

La prévention des facteurs professionnels qui amènent à consommer des SPA est à prendre en compte : stress, travail posté, postes de sécurité, travail en plein air, port de charges lourdes... De même, si la consommation de boissons alcoolisées est autorisée dans l'entreprise, des mesures de prévention sont à mettre en œuvre, notamment lors des pots ou des repas d'affaires : alcool limité au cidre, vin, bière ou poiré, délai de reprise d'une activité dangereuse après consommation, limitation des quantités d'alcool disponibles, fournir des boissons non alcoolisées et des aliments... Ces mesures sont à inscrire dans le règlement intérieur. Enfin, la question de la mise à disposition d'alcool lors de la présence de mineurs ou d'apprentis est à poser.

Les actions d'information et de formation des salariés sont à intégrer sur des plages horaires suffisantes du temps de travail. Il s'agit de définir ce que sont les pratiques addictives et les risques associés, de connaître les aides existantes, la réglementation... Les encadrants sont un public prioritaire. Leur formation doit permettre d'échanger sur ce sujet et de garantir l'anonymat des éventuelles situations concrètes qui seraient abordées.

Il est utile que l'ensemble des salariés connaisse le rôle du service de santé au travail lors du suivi individuel : anamnèse relative aux consommations de SPA dans le cadre des recommandations en

vigueur, respect du secret médical, conseil et orientation des salariés en cas de difficultés, aménagement du poste de travail, visite à la demande... De même le rôle de l'infirmier d'entreprise est à expliquer.

Enfin, il est utile de rappeler que le dépistage ne supprime pas les facteurs de consommation liés au travail. De plus, les tests salivaires actuels sont insuffisamment fiables, notamment pour le cannabis (cf. plus haut Les tests de dépistage).

En conclusion, les pratiques addictives sont à aborder avec les mêmes moyens que tout autre risque professionnel. Dans la démarche de prévention, l'équipe pluridisciplinaire du service de santé au travail est un acteur incontournable, tant par sa connaissance du poste de travail que de l'état de santé global des salariés.

## LES ACTEURS EXTERNES AIDANT LE SST DANS LA MISE EN PLACE D'UNE DÉMARCHE DE PRÉVENTION ET LA PRISE EN CHARGE D'UN SALARIÉ. PRÉSENTATION DE L'OUTIL ADDICT'AIDE

*M. Reynaud, président du fond Actions Addictions.*

Le portail Addict'Aide Pro ([www.addictaide.fr/pro/](http://www.addictaide.fr/pro/)), conçu avec le soutien de la MILDECA, s'adresse aux dirigeants, préventeurs, membres du service de santé au travail (SST), représentants du personnel ou chargés des ressources humaines. Construit sur le modèle du portail Addict'Aide (grand public), cet espace propose des données utiles à la prévention des addictions en milieu professionnel. Il met à disposition les outils nécessaires pour mener une démarche de prévention des addictions en entreprise et réagir en cas de problème sur le lieu de travail.



## Consommations (avec ou sans produits) et milieux professionnels : quelle prévention en 2019 ?

Dans la partie « Outils et bonnes pratiques » se trouvent des informations sur toutes les addictions pour mieux les comprendre : alcool, tabac, cannabis, autres drogues, comportements, médicaments, écrans, rangées en 3 catégories : « se renseigner », « prévenir », « réagir ». Par thème, une trentaine de fiches téléchargeables récapitule l'essentiel sur une question donnée. Par exemple, une fiche « SPA, qu'est-ce que mon entreprise gagne à avoir une politique de prévention ? » présente de façon simple 3 bonnes raisons démontrant que le développement d'une politique de prévention est un facteur de croissance et un axe de développement. Pour connaître le protocole en cas de crise potentiellement liée à une consommation de substances psychoactives, il existe une fiche « SPA, comment bien réagir face à un collègue en situation de crise ? ».

La gestion des conduites addictives au travail appelle plusieurs questions : « Comment gérer une situation de crise ? Comment inscrire les addictions dans une démarche de prévention ? Quels sont les éléments juridiques relatifs aux addictions en milieu professionnel ? »... Des réponses aux questions les plus fréquemment posées (FAQ) sont disponibles dans « Les réponses à vos questions » classées selon 4 catégories de public : services de santé au travail, représentants du personnel, collaborateurs, dirigeants et chargés de ressources humaines.

La partie « Ils vous accompagnent », propose des listes d'acteurs institutionnels et de terrain pouvant aider à mettre en place une démarche de prévention. Enfin, « Ils témoignent » offre la parole à des dirigeants, des salariés, des médecins du travail, des patients experts... qui font part de leurs expériences, de leurs bonnes pratiques ou de leurs démarches.

### REPÉRAGE DES CONSOMMATIONS ; OUVRIR LE DIALOGUE AVEC UN SALARIÉ SOUS SUBSTANCES PSYCHOACTIVES : POUR QUELLES RAISONS ET COMMENT FAIRE ?

**D. Duquesne, Pôle santé travail, Lille.**

Les recommandations de bonne pratique « Dépistage et gestion du mésusage de substances psychoactives (SPA) susceptibles de générer des troubles du comportement en milieu professionnel », élaborées par la SFA (Société française d'alcoologie) et la SFMT en 2013, apportent aux équipes de santé au travail des outils et des procédures pour améliorer le repérage et la prise en charge des consommateurs à risque de SPA.

La question posée est celle du contexte dans lequel se déroule l'entretien en santé travail. Il est important de se placer dans un contexte relationnel et humain, en favorisant une rencontre avec la personne. La thématique de la consommation/addiction interpelle au-delà du pourquoi et du comment. Il est souhaitable de s'interroger sur le « vers quoi souhaitons-nous aller en santé au travail dans le cadre de la rencontre d'un salarié ? ». Par exemple, aujourd'hui, certains services déconseillent voire interdisent aux intervenants, médecins ou infirmiers, de fournir des documents sur le cannabis arguant qu'il s'agit d'une substance illicite... Le débat doit s'ouvrir. Lorsque l'entretien passe par un logiciel, celui-ci est au service de la rencontre et non l'inverse ; remplir un dossier informatique doit être le résultat d'un dialogue. Par ailleurs, ce travail de prévention est un travail d'équipe : l'infirmier(e)

qui entame le dialogue adresse, en cas de besoin, le salarié au médecin du travail pour qu'il le poursuive, et le médecin à son tour peut profiter des compétences de l'infirmier(e) pour prolonger le suivi.

Concernant le « comment faire », les outils disponibles sont le RPIB (cf. plus loin), la parole, à travers la discussion, et des questionnaires. Un auto-questionnaire avant l'entretien est un élément intéressant, s'il est suivi d'un échange : « un entretien bien mené est plus efficace pour repérer une consommation que la passation simple de questionnaires ». En 2002, M. Reynaud préconisait déjà une évaluation systématique de la consommation d'alcool lors de l'entretien, sans attendre de signes cliniques ou biologiques. Enfin, les nouvelles technologies (intelligence artificielle, e-santé, application sur le smartphone du salarié...) interrogent sur le sens et la manière de rencontrer ou non le salarié et de l'accompagner.

Pour l'intervenant, le sens à donner au repérage des consommations se définit en trois points :

- « bilancer » la situation et comprendre la consommation (éléments de la vie professionnelle mais aussi personnelle) ;
- orienter le salarié vers un centre d'addictologie (CSAPA,...) ;
- suivre en santé au travail (définir le bon rythme des visites).

### REPÉRAGE DES CONSOMMATIONS : QUELS OUTILS ? PLACE ET APPORT DU RPIB

**G. Demortière, AMETIF, Cergy Pontoise.**

La mise en place du repérage précoce et de l'intervention brève (RPIB) représente 20 années de travail : en 1999, l'addictologue P. Batel demande à l'intervenant, dans le

cadre de la Société de médecine du travail de l'Ouest Île-de-France (SMTOIF), d'expérimenter un auto-questionnaire de repérage des consommations d'alcool, mélangeant les questionnaires AUDIT et DETA en 14 questions. Une cinquantaine de médecins du travail questionne près de 1 800 salariés, avec un très faible taux de refus. La généralisation de ce type de repérage clinique prendra du temps mais, depuis 2011 : « nous sommes dans l'implication ».

L'étude d'envergure EIST (Efficacité de l'intervention brève en santé au travail) réalisée de 2004 à 2006, démontre l'efficacité de l'intervention brève (IB) visant la consommation d'alcool chez les buveurs non dépendants. Un questionnaire (AUDIT, FACE) est remis au salarié par une secrétaire en santé au travail en salle d'attente. Près de 33 000 salariés sont questionnés, avec un taux de refus du questionnaire de 1,8 %. Cette étude montre que 7,1 % des salariés présentent un message d'alcool, sans dépendance, et 0,9 % ont un résultat compatible avec une dépendance. Ce travail confirme aussi les résultats médiocres des tests biologiques (VGM et  $\gamma$ GT) par rapport au repérage clinique.

Les résultats montrent également que les IB en santé au travail sont efficaces comparées à la remise d'un livret d'information, qui a lui-même une influence positive sur les consommations. L'IB concerne 7,1 % des salariés consommateurs d'alcool. Pour les 72,5 % d'usagers à faible risque une information est donnée sur les risques pour la santé et la sécurité.

En 2009, les résultats d'une enquête INRS/INPES/SMTOIF montrent que sur 750 médecins interviewés, 46 % ont une approche systématique de la consommation d'alcool, alors que 87 % d'entre eux inter-

rogent systématiquement sur la consommation de tabac et 17 % sur le cannabis... Pour les deux produits licites, pourquoi s'intéresser davantage à la consommation de tabac qu'à l'alcool ? Une enquête de la Mutualité sociale agricole (MSA) de 2016 montre que 64,4 % des IST (infirmiers en santé au travail) répondants ont une approche systématique de la consommation d'alcool vs 38,7 % des médecins du travail. Ces résultats expriment la légitimité des IST et leur intérêt à la pratique de l'IB.

En 2017, de nouvelles recommandations sur le risque alcool de l'Institut national contre le cancer (INCA) et de Santé publique France sont publiées, modifiant fortement les niveaux de consommation recommandés : ne pas consommer plus de 10 verres standard/semaine (auparavant 21 verres pour les hommes...). Pas plus de 2 verres/jour (contre 4 précédemment). Avoir des jours dans la semaine sans consommation. Ces évolutions ne modifient pas les pratiques du RPIB.

Utiliser le temps de présence du salarié en salle d'attente pour proposer le test de repérage (AUDIT, FACE) ou s'aider de l'intelligence artificielle (autoquestionnaires intégrés aux logiciels) sont des pistes intéressantes. Se servir d'un support visuel définissant l'unité d'alcool par type de boisson ou évoquant les risques pour la santé (plaque, dépliant, affiche...) permet d'amorcer et de faciliter l'échange avec le salarié. Après avoir parlé du verre standard et expliqué le risque alcool, la restitution des résultats du test de repérage est déjà une intervention en soi.

Publiées en 2015, les recommandations de bonnes pratiques de la Haute Autorité de santé (HAS) « *Outil d'aide au repérage précoce et intervention brève : alcool, tabac,*

*cannabis chez l'adulte* » préconisent son utilisation par les professionnels. Pour les autres SPA (produits illicites, médicaments psychotropes, traitement de substitution aux opiacés), les recommandations de la SFA et de la SFMT de 2013 apportent des outils pour la pratique clinique. Pour l'intervenant, il serait intéressant de réaliser des études de validation du RPIB pour toutes les SPA.

Enfin, il est très important pour l'équipe de santé au travail de bien se former à la pratique du RPIB. Il s'agit d'informer, de motiver et de conseiller le salarié en exprimant son empathie, en renforçant son sentiment d'efficacité personnelle et dans le respect de son autonomie. L'importance de développer une approche motivationnelle est à souligner.

# Protégeons-nous



**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 - Designer graphique : Éva Minem - © INRS 2020 - AD 837

Découvrez nos nouvelles affiches  
sur les risques liés aux nuisances sonores

Pour en savoir plus :  
[www.inrs.fr/affiches-bruit](http://www.inrs.fr/affiches-bruit)



# Infirmier de santé au travail : un expert pour la santé des salariés

13<sup>es</sup> Journées d'études et de formation du  
Groupement des infirmiers de santé au  
travail (GIT). Toulouse, 9-11 octobre 2019

## EN RÉSUMÉ

### AUTEURS :

S. Dewitte, B. Juillard, S. Ode, I. Padritge, Groupement des infirmiers de santé au travail (GIT)

Ces journées ont permis de faire le point sur des risques professionnels auxquels sont de plus en plus souvent confrontés les infirmiers de santé au travail (IDEST) : la cobotique et les exosquelettes, les perturbateurs endocriniens et les nanomatériaux. Ont également été abordés les moyens de valoriser les compétences au sein de l'équipe pluridisciplinaire à partir de nombreux exemples. Enfin a été évoquée la notion de pratiques avancées.

### MOTS CLÉS

Infirmier /  
Perturbateur  
endocrinien /  
Nanoparticule /  
Exosquelette /  
Technologie  
avancée /  
Pluridisciplinarité /  
Dysrupteur  
endocrinien

**E**n ouverture de ces journées, la présidente du Groupement des infirmiers de santé au travail (GIT) rappelle que le système de santé français évolue vers davantage de prévention. Le nombre de médecins, notamment du travail, décline ; l'infirmier de santé au travail (IDEST) se trouve au cœur de ce changement, avec un rôle prédominant.

Le président de l'Ordre national des infirmiers (ONI) a rappelé qu'un Code de déontologie existe pour tous les infirmiers, quels que soient leur mode et lieu d'exercice. Il précise que l'ONI met à la disposition de ses adhérents, un service juridique et un service d'entraide.

Il soutient le Conseil national de la profession (CNP) et le GIT, pour l'obtention du statut de salarié protégé pour l'IDEST, et reconnaît l'intérêt de la présence d'IDEST dans les Directions régionales des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi (DIRECCTE).

Pour le Dr C. Piron, cheffe de l'inspection médicale du travail, l'arrivée des infirmiers dans les services de santé au travail est une évidence : ils sont rigoureux, ils ont un rôle important à jouer dans le recueil des données, la veille sanitaire, le suivi, la prévention et l'information des salariés. Pour elle, il faut créer des ponts entre la santé et la santé au travail.

## Infirmier de santé au travail : un expert pour la santé des salariés

### LES RISQUES ÉMERGENTS

#### COBOTIQUE ET EXOSQUELETTES.

*J.J. Atain-Kouadio et D. Tihay, INRS*

Les robots sont de plus en plus utilisés dans l'industrie car ils sont très rapides, précis et ne se fatiguent jamais. Ce sont des machines automatiques utilisées pour des tâches répétitives, dangereuses ou nécessitant une grande précision. Il est possible de combiner les actions du robot et celles de l'homme ; ce dernier assurant les tâches qui nécessitent un savoir-faire, la machine effectuant les tâches contraignantes et répétitives. Il peut y avoir plusieurs types de collaboration :

- une collaboration directe dans laquelle l'opérateur et le robot travaillent simultanément à la réalisation d'une même pièce ;
- une collaboration indirecte dans laquelle l'opérateur et le robot travaillent en alternance sur une même pièce ;
- une troisième option dans laquelle l'opérateur et le robot effectuent des tâches différentes, mais ils peuvent être amenés à partager le même espace de travail.

Hier, l'opérateur était isolé du robot. La majorité des risques était alors maîtrisée par la mise en place de barrières autour du robot. Avant toute intervention dans la cellule, l'opérateur commandait l'arrêt du robot. Aujourd'hui, les barrières tendent à être supprimées, il y a une continuité des procédés et une interaction entre le robot et l'homme est possible. Il est cependant nécessaire, lors de son installation, de prendre en compte tous les risques liés, non seulement aux mouvements du robot, mais aussi à la nature de l'activité, aux outils dont il est pourvu et aux pièces manipulées. Outre les risques mécaniques (choc, coupure...), les élec-

triques et thermiques, ils peuvent être sources de troubles musculo-squelettiques (TMS) et de risques psychosociaux (RPS) (peurs, problématique d'acceptation...).

Une installation robotisée est considérée par la directive 2006/42/CE comme une machine. Elle doit, à ce titre, répondre aux exigences essentielles de santé et de sécurité relatives à la conception et la construction des machines, telles que spécifiées dans ladite directive. Ces exigences ont pour objectif de supprimer ou réduire les risques d'accident ainsi que les contraintes physiques et psychiques. Afin de mettre en œuvre des solutions permettant de répondre à ces exigences, les fabricants, les intégrateurs et les industriels pourront s'appuyer sur les différentes normes, dont les NF EN ISO 10218-1 et -2, spécifiques aux robots.

La démarche de prévention des risques liés à la collaboration homme-robot doit être globale : analyse du besoin, analyse des risques, mise en œuvre des solutions de prévention en tenant compte des facteurs humains et techniques. La mise en sécurité de l'opérateur est primordiale : le robot surveille son environnement et, selon l'application envisagée, arrête ses mouvements ou modifie ses trajectoires lorsque l'opérateur est détecté. Dans certains cas, lorsque les résultats de l'analyse de risque le permettent, il sera possible d'envisager un contact entre l'opérateur et le robot. Pour cela, il est indispensable que le robot intègre des capteurs capables de détecter la collision et d'arrêter instantanément ses mouvements.

Les exosquelettes sont des structures mécaniques revêtues par un utilisateur, qui transmettent de l'énergie au corps humain dans le but de réduire les sollicitations musculaires excessives. Il peut

s'agir de systèmes passifs, constitués de ressorts ou d'élastiques, ou bien de systèmes actifs fonctionnant avec des moteurs. Depuis quelques années, des applications médicales redonnent la capacité de marcher ou de soulever des objets aux patients atteints de handicaps moteurs ; les militaires testent également ces nouvelles technologies. Leur introduction dans l'industrie est très récente : les premiers tests ont été réalisés en 2015 avec 3 prototypes. En 2019, sur le marché, on compte 14 exosquelettes pour le dos, 24 pour le membre supérieur, 5 pour le corps entier. Portés dans tous les cas par l'opérateur, ils aident au mouvement. Il existe des dispositifs d'assistance physique (DAP) ou des robots d'assistance physique (RAP). Ils présentent un potentiel pour assister physiquement les opérateurs mais ont aussi des limites liées, par exemple, à leur conception et aux possibilités de réglages. Ils peuvent réduire la charge physique avec une diminution de 10 à 80 % de l'activité musculaire. Cependant, ils peuvent avoir une incidence sur les muscles posturaux, les muscles antagonistes. Ils doivent correspondre à une tâche, exigent un apprentissage et la reconfiguration de la situation de travail. L'interaction exosquelette/homme/tâche doit être évaluée en temps réel, au poste de travail. L'INRS a produit des documents pour aider les entreprises dans la prise de décision d'acquisition et d'intégration d'un exosquelette. Le choix de celui-ci passe obligatoirement par une définition précise du besoin d'assistance physique et la rédaction d'un cahier des charges pour identifier les fonctions d'assistances souhaitées. Un projet exosquelette s'inscrit dans le cadre d'une démarche participative. L'opérateur, le collectif, l'environnement doivent être pris en compte

car le processus d'acceptation de l'usage d'un exosquelette doit tenir compte de toutes ces variables. Des évaluations à court, moyen et long termes doivent être menées par les entreprises afin de s'assurer, dans le temps, des apports de l'usage d'un exosquelette.

La cobotique est le domaine de la collaboration de l'homme et du cobot, robot à assistance physique multipliant la force de l'opérateur qui le pilote. Il peut limiter les accidents de travail et les TMS en réduisant le port de charge, les vibrations. Il faut toujours prendre en compte l'homme, ses interactions avec le robot et le rapport à la tâche. Ces dispositifs ne nécessitant pas de force importante, ils peuvent être proposés à tous, y compris à des personnes avec des restrictions médicales. Cependant, ils peuvent présenter certains inconvénients, comme des mises en sécurité fréquentes, la limitation des possibilités de déplacements des opérateurs, l'utilisation du pont roulant ; ils peuvent être pourvoyeurs de pathologies articulaires. Pour intégrer un cobot, le chargé de projet doit résoudre des équations quelques fois complexes. Lors de la mise en place dans l'entreprise, beaucoup de questions se posent : qui a la maîtrise du geste : l'homme ou le cobot ? Quelles perturbations sensorielles entraîne-t-il ? Quel est le degré de liberté de l'opérateur ? Quelle est sa charge attentionnelle ? Quel temps d'appropriation sera nécessaire ? L'opérateur peut changer de statut, les repères du collectif sont modifiés, avec potentiellement une impression de perte de son expertise. Cette technologie d'assistance physique est une contribution à la réduction de la charge physique qui nécessite des périodes de familiarisation et d'apprentissage ainsi qu'une évolution du travail et de son organisation.

Si l'analyse du besoin d'assistance physique n'est pas menée correctement, le cobot ne répondra pas toujours aux espoirs de l'entreprise en termes de réduction des TMS.

#### **PERTURBATEURS ENDOCRINIENS**

**M. Cuevas, A. Raffetin et J. Vonarx, équipe pluridisciplinaire, service de santé au travail Centre-Val de Loire**

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) propose la définition suivante pour les perturbateurs endocriniens (PE) : « *une substance, ou un mélange de substances, qui altère les fonctions du système endocrinien et de ce fait induit des effets néfastes dans un organisme intact, chez sa progéniture, ou au sein de sous-populations* ». Ils peuvent agir à faible dose, notamment sur la croissance, le métabolisme, la reproduction, avec un effet plus ou moins retardé, voire transgénérationnel. L'exposition à un mélange de plusieurs PE pourrait avoir des effets très différents de l'exposition aux substances seules ; on parle alors d'effet cocktail. Ils représentent une problématique de santé publique et de santé au travail du fait de leur utilisation ubiquitaire. Les salariés sont exposés lors de la manipulation des matières premières et de produits manufacturés, mais le sont aussi en fonction des substances émises par certains procédés, il est difficile d'en évaluer le nombre.

En 2017, une entreprise du Cher a mené une étude sur les PE présents dans ses installations et l'exposition potentielle des salariés. Dans un deuxième temps, l'étude a été élargie à 481 entreprises, soit 21 000 salariés de la région Centre-Val de Loire. Ainsi, 370 préventeurs ont été sensibilisés à la démarche de repérage des PE. Dans ce cadre, l'IDEST intervient dans la traçabilité (repérage des produits, de leur utilisation, des salariés exposés) ;

il prodigue des conseils aux salariés lors des visites individuelles de prévention (VIP) et assure la veille sanitaire. Ainsi, le service de santé au travail peut signaler sur la plateforme du Groupe d'alerte en santé travail (GAST), créé par Santé Publique France, tout événement de santé inhabituel : cas groupés d'une même maladie, de mêmes symptômes, d'une exposition qui met potentiellement en danger la santé de travailleurs.

#### **NANOMATÉRIAUX**

**N. Renaudie, DIRECCTE Nouvelle Aquitaine**

Selon la définition de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), « *les nanomatériaux (NM) sont des matériaux dont la taille ou la structure comporte au moins une dimension comprise entre 1 et 100 nanomètres environ. Cette taille nanométrique leur confère des propriétés physiques, chimiques ou biologiques particulières* ». Ils sont de forme variable : particule, feuillet, fibre, tube, agglomérat... Environ un demi million de tonnes est utilisé par an en France. Présents dans de nombreux secteurs d'activité, notamment l'agriculture, la santé, la cosmétique, le bâtiment, l'industrie et la recherche, leur utilisation est en plein essor. Les connaissances sur les effets potentiels des NM sont parcellaires mais, d'une façon générale, les particules à l'échelle nanométrique semblent caractérisées par une plus grande réactivité biologique qu'à l'échelle micrométrique. La pénétration dans l'organisme par la voie respiratoire est la plus préoccupante, ainsi que la possible migration des nanoparticules vers le système nerveux central. Le rapport d'activité 2018 du Haut Conseil de la Santé publique (HCSP) préconise des mesures de

## Infirmier de santé au travail : un expert pour la santé des salariés

précautions vis-à-vis du dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>). En mars 2019, le rapport de l'OMS donne les lignes directrices pour la protection des travailleurs contre les risques potentiels des NM en recommandant l'application du principe de précaution et la hiérarchisation des moyens de protection. Le HCSP recommande une vigilance pour les femmes enceintes, allaitant ou en âge de procréer. Le risque doit être inscrit dans le plan de prévention des risques de l'entreprise et mentionné aux entreprises extérieures intervenantes. Il n'existe pas de disposition spécifique aux NM dans le Code du travail. Les principes généraux de prévention définis à l'article L. 4121-1 s'appliquent : l'employeur doit évaluer les risques, les supprimer ou les réduire, informer les salariés comme pour les agents chimiques dangereux (ACD) ou ceux classés CMR. La fiche d'entreprise doit intégrer les NM dans la partie risque chimique. L'équipe de santé au travail applique ses missions réglementaires : traçabilité des expositions, surveillance de l'état de santé, veille sanitaire, information et formation des salariés et des employeurs. L'IDEST joue un rôle important dans l'équipe pluridisciplinaire et doit être formé à la spécificité des NM. Lors des VIP, il recueille tous les éléments de santé négatifs : problèmes respiratoires, cardiaques, neurologiques, maladies auto-immunes... Il les note dans le dossier médical de santé au travail (DMST), évalue la capacité au port d'équipement de protection individuelle (EPI) ; l'étanchéité des équipements au niveau de la peau est primordiale. L'IDEST effectue les examens complémentaires, oriente vers le médecin du travail si besoin, informe le salarié sur les risques et le sensibilise aux moyens de prévention en sachant que, pour la protection respiratoire,

les paramètres les plus importants sont la taille des particules et l'ajustement du masque. Il doit rester prudent dans les messages qu'il transmet et ne pas être anxiogène. D'autre part, il contribue à la veille sanitaire, recueille les informations et les observations pour alimenter les enquêtes permettant de faire le lien entre une exposition aux NM et la survenue d'une pathologie. Il peut participer au dispositif EpiNano, étude épidémiologique coordonnée par Santé Publique France. Avec les NM, les enjeux économiques sont majeurs. Il est essentiel de créer et maintenir le dialogue avec les entreprises, de s'adapter à leurs niveaux de connaissance pour délivrer le bon niveau d'informations et de conseils. Il faut lutter contre les idées fausses, tous les NM ne présentent pas le même niveau de danger. L'action doit être axée sur trois volets : les risques pour la santé, les moyens de protection et la cohorte EpiNano. Le manque d'uniformisation des logiciels complique le regroupement des données pour les évaluations collectives.

### VALORISER LES COMPÉTENCES

Le rôle propre infirmier a été illustré par le biais de plusieurs présentations. L'article R. 4311-3 du Code de la Santé publique stipule : « *l'infirmier a compétence pour prendre les initiatives et accomplir les soins qu'il juge nécessaires (...). Il identifie les besoins de la personne, pose un diagnostic infirmier, formule des objectifs de soins, met en œuvre les actions appropriées et les évalue* ». L'article R. 4311-5 du même Code précise que « *dans le cadre de son rôle propre, l'infirmier ou l'infirmière accomplit les actes ou*

*dispense les soins suivants visant à identifier les risques et à assurer le confort et la sécurité de la personne et de son environnement et comprenant son information* ». L'Association nord-américaine du diagnostic infirmier (ANADI) définit le rôle propre de l'infirmier comme « *l'énoncé d'un jugement clinique sur les réactions aux problèmes de santé présents ou potentiels d'une personne, d'un groupe ou d'une collectivité* ». Dans ce contexte, **S. Rousseau et A. Le Piouffle, infirmiers de santé au travail**, rapportent l'existence de Groupe d'analyse de la pratique entre pairs (GAPEP), dans le cadre du développement professionnel continu (DPC). Lors de ces réunions, un infirmier présente une monographie qu'il a rédigée, détaillant un cas vécu personnellement et professionnellement ainsi que les problèmes rencontrés. Les pairs l'écoutent de manière bienveillante, sans jugement, et l'interrogent. Ils apportent leurs propres expériences, font des propositions. Un compte-rendu est rédigé, validé lors de la séance suivante puis envoyé à un binôme infirmier expérimenté d'accompagnement qui enverra ses commentaires. Le GAPEP contribue à l'affirmation du rôle propre par l'analyse d'une situation du point de vue infirmier et apporte un enrichissement des pratiques. Le travail est abordé comme un soin, chacun prend de la distance avec ses émotions. Pour Dominique Loreau, essayiste, « *écrire, c'est réfléchir deux fois* » tandis que Walter Hesbeen, infirmier chercheur, affirme que « *nous avons été formés à l'écriture d'un acte, nous devons acquérir l'acte d'écriture* ».

**C. Chazette, infirmière de santé au travail**, rappelle que le référentiel de compétences, créé en 2009 par le GIT, a été réactualisé pour

répondre à l'évolution de la profession, suite aux différentes réformes depuis 2012. Il est le document de référence de la profession, consultable sur le site internet du GIT.

**D. Blaise, infirmier de santé au travail**, présente l'entretien motivationnel, issu de la psychiatrie et utilisé notamment en addictologie. Son but est de renforcer les motivations pour un engagement vers le changement : chacun se persuadant mieux pour les raisons qu'il a lui-même trouvées que pour celles amenées par autrui. La notion d'intention positive et les actions déjà mises en place sont valorisées et des objectifs SMART (Spécifique, Mesurable, Atteignable, Réaliste et Temporellement définis) sont fixés. Cet entretien motivationnel peut être utilisé pour sensibiliser les salariés à la prévention de leurs risques professionnels, notamment le port des EPI quand ceux-ci sont indispensables.

Les conduites addictives en milieu de travail ont été abordées par **A. Crignon, infirmière de santé au travail**. Les substances psychoactives favorisent les accidents et, vraisemblablement, l'absentéisme, les conflits interpersonnels, l'altération des performances individuelles et collectives, la perte de l'emploi.

Dans le cadre du travail, trois mécanismes d'usage peuvent être définis :

- l'importation : l'usage privé peut s'étendre au travail (smartphone) ;
- l'acquisition : les pots, repas dans la culture de l'entreprise pour entretenir du lien social ;
- l'adaptation : l'usage de produits pour tenir, être plus performant, oublier un travail peu reconnu.

Le Plan santé au travail 2016-2020 (PST3) et le Plan national de mobilisation contre les addictions 2018-2022 font de la lutte contre les conduites addictives en milieu de travail une priorité. Lors des

VIP, l'IDEST interroge le salarié ou lui remet un questionnaire d'auto-évaluation pour dépister une conduite addictive ; il le sensibilise au risque et l'oriente, si besoin, vers le médecin du travail ou le médecin traitant. Au sein de l'entreprise, l'IDEST apporte des connaissances sur les produits et leurs effets, favorise la prise de conscience sur les pratiques addictives et leurs conséquences en milieu de travail. Il participe à la démarche de prévention collective. Il collabore à des études et assure la veille sanitaire.

**C. Boucher, psychologue du travail**, insiste sur la nécessité, pour l'IDEST, de savoir communiquer autant au sein de l'équipe pluridisciplinaire qu'au sein de l'entreprise pour déployer son rôle propre et son rôle prescrit. Élaborer un projet de prévention ou une formation nécessite une méthodologie prenant en compte les enjeux de l'entreprise et ceux de la santé au travail. Dans un premier temps, les besoins seront identifiés et analysés : quelle est la demande ? Quelle est la problématique de l'entreprise ? Y a-t-il une corrélation entre la demande et les besoins ? La conception se construit autour d'une argumentation efficace en prenant en compte le comment faire percevoir et accepter ; d'où la nécessité d'un projet réaliste et réalisable. Pour se faire l'IDEST dispose de l'outil SONCAS :

- sécurité : besoin fondamental de l'homme, problématique de l'entreprise ;
- orgueil : s'appuyer sur le besoin de reconnaissance des interlocuteurs ;
- nouveauté : beaucoup de personnes y sont sensibles ;
- confort physique et psychologique ;
- argent : argumentation financière ;

- sympathie : rôle important, la bienveillance aide pour l'acceptation du projet.

Il faut du temps, travailler en synergie, parler le même langage, organiser et donner de la visibilité, planifier, adapter les outils, formaliser l'objectif pédagogique qui doit être observable, atteignable et évaluable. La réalisation de l'action sera suivie de l'évaluation et de la restitution aux différents partenaires. Surtout s'il est chef de projet, la communication de l'IDEST doit s'adapter à l'interlocuteur : le directeur sera probablement plus sensible aux coûts ; le manager à la production, au turnover ; le responsable des ressources humaines à l'absentéisme ; les représentants du personnel aux conditions de travail ; le salarié à la fatigue, aux douleurs. Il faut être sûr de soi, préparer son argumentaire, se poser les bonnes questions. La légitimité de l'IDEST repose sur 4 piliers : le personnel (histoire de chacun), l'impersonnel (cadre réglementaire), l'interpersonnel (relations) et le transpersonnel (échanges entre pairs). Il est important de communiquer en gardant une attitude positive, souple dans la forme, ferme dans le fond, conciliant l'affirmation de soi-même et le respect d'autrui. La qualité de la relation améliore la compréhension mutuelle. La posture et le positionnement sont primordiaux : la posture concerne la position du corps, le positionnement est un mouvement interne dynamique, tourné vers l'extérieur (attitude morale, politique, sociale, économique). Les liens entre le travail prescrit, le travail réel, le travail réalisé et le travail vécu doivent être pris en compte : écarts, méconnaissance du quotidien de chacun, de la qualité et quantité d'investissement personnel. Il faut différencier les faits et les émotions, rester vigilant et rigoureux dans la retranscription et la rédaction.



## Infirmier de santé au travail : un expert pour la santé des salariés

### L'EXPERTISE INFIRMIÈRE EN SANTÉ AU TRAVAIL

**D. Lecordier, infirmier chercheur et rédacteur de la revue Recherche en soins infirmiers**, a proposé une réflexion sur la notion de pratiques avancées en commençant par différencier l'expert, le consultant et le chercheur. Un expert possède des savoirs spécifiques et des connaissances pratiques, dans un domaine particulier ; sa légitimité repose sur son diplôme et son expérience. Il se conforme à une procédure, dans un cadre étroit. Il est sollicité sur un cas clinique qui pose problème. Le consultant évalue les pratiques, produit des études ; il est sollicité, par exemple, pour analyser les défauts d'une organisation, suite à un événement indésirable. Il propose des changements. Le chercheur observe, mobilise les savoirs théoriques pour contribuer au devenir de sa discipline. Il répond à une demande sociale sur le plan théorique et technique. L'infirmier mobilise ses savoirs, développe un point de vue sur la santé de l'homme et son environnement, soutient la discipline. Il connaît le travail et ceux qui font le travail. Le clinicien, suite à délégation d'actes médicaux, réalise des dépistages, des actions d'éducation, suit des patients atteints de maladie chronique. Un infirmier exerçant en pratique avancée est un professionnel qui a acquis des connaissances théoriques, le savoir-faire nécessaire aux prises de décisions complexes ainsi que les connaissances cliniques concernant sa profession. Les pratiques avancées sont mentionnées dans le Code de la Santé publique (articles L4301-1 et R4311-15). De par son expérience, ses facultés d'observation et de raisonnement, l'IDEST développe la capacité à s'interroger sur

le travail en s'appuyant sur les 14 besoins fondamentaux de Virginia Henderson<sup>1</sup>. Il a un rôle à jouer par rapport au travail qui doit répondre aux normes de sécurité en vigueur et à son environnement : présence de vestiaires, de douches. Il s'interroge sur la possibilité, pour le salarié, de boire, se nourrir, se reposer ; y a-t-il un restaurant d'entreprise ? un lieu réservé à la pause repas ? Lors des VIP, il questionne les travailleurs postés et dépiste les problèmes de sommeil ou alimentaires, informe et conseille. Il s'assure qu'il n'y a pas de problème de communication entre collègues ou avec la hiérarchie. Dans l'entreprise, il participe aux études de postes, à l'évaluation des risques professionnels et de la qualité de vie au travail. Ce raisonnement clinique permet de reconnaître les signes et les symptômes, de soulever des hypothèses et de poser un diagnostic. Le vécu de la personne est évalué, ses besoins sont analysés, l'IDEST effectue alors les soins relevant de son rôle propre.

**A. Harriss, professeur émérite à l'université en santé au travail de Londres**, précise qu'au Royaume-Uni, les infirmiers en santé au travail sont reconnus comme des spécialistes. Certains, très expérimentés assument des responsabilités plus élevées que ceux qui travaillent au niveau des soins généraux. Ils assurent, maintenant, des rôles autrefois réservés aux médecins. Dans d'autres disciplines, les infirmiers exerçant en pratiques avancées ont pu enregistrer leur qualification par le biais d'une accréditation. Les quatre piliers de leur activité sont la clinique, le management, la formation et la recherche. « Ni le nombre de formations, ni le nombre d'années d'exercice professionnel ne sont suffisants pour se prévaloir infirmier de pratiques avancées ».

*1. Il s'agit d'une liste ordonnée de concepts qui définissent l'autonomie des individus sur les plans physiques, psychologiques et sociaux : besoin de respirer, besoin de boire et manger, éliminer, se mouvoir et maintenir une bonne posture, dormir et se reposer, se vêtir et se dévêtir, maintenir sa température, être propre, protéger ses téguments, éviter les dangers, communiquer, pratiquer sa religion et agir selon ses croyances et ses valeurs, s'occuper en vue de se réaliser, besoin de se récréer, se divertir, besoin d'apprendre.*

**L'ensemble des interventions sont disponibles sur le site :**

<https://jef.git-france.org/>

**Les prochaines journées nationales d'études et de formation du GIT sont prévues en 2021 en région Pays de la Loire.**

# Bruits impulsionsnels, un danger mal connu ?

## EN RÉSUMÉ

De nombreuses études épidémiologiques ont démontré la dangerosité des bruits impulsionsnels pour l'audition. Ces bruits, dont les spécificités sont des temps de montée très courts associés à des niveaux élevés, se retrouvent dans un nombre important de secteurs professionnels, exposant de nombreuses personnes à un risque encore mal connu. Face à cette méconnaissance, de nombreuses questions se posent. Existe-t-il une définition précise d'un bruit impulsionsnel ? Comment ces bruits sont-ils pris en considération dans la réglementation ? Quelles activités sont concernées ? Quels sont les effets sur la santé ? Comment s'en protéger ? En tentant de répondre à ces questions, cet article fait le point sur l'état actuel des connaissances et de la réglementation.

## AUTEUR :

J. Terroir, département Ingénierie des équipements de travail, INRS

## MOTS CLÉS

Bruit / Audition / Fatigue auditive / Réglementation

**L**e risque pour la santé auditive des salariés exposés à des bruits de niveaux élevés n'est plus à démontrer : acouphènes, hyperacousie (sensibilité anormale), diplacousie (distorsion entre les deux oreilles), pertes auditives temporaires ou fatigue auditive, puis déficit auditif permanent. Les troubles auditifs peuvent résulter, à long terme, d'une exposition chronique au bruit mais également survenir immédiatement, à la suite d'une exposition brève à des bruits de très forte intensité. On parle alors de traumatisme sonore aigu. Cet article s'intéresse à ces bruits « impulsionsnels » qui peuvent dégrader, sur de longues comme sur de très courtes périodes, le système auditif des salariés exposés.

Les bruits émis par les sources sonores dangereuses varient dans le temps. Lorsque le niveau sonore des bruits évolue lentement (moteur tournant à vitesse régulière par exemple), les bruits sont qualifiés de « continus ». Dans le cas d'une apparition très brusque - et généralement très énergétique -, on parle de « bruits de choc » ou de « bruits impulsionsnels ». Ces derniers se retrouvent dans un grand nombre de secteurs professionnels. Si l'on pense spontanément aux détonations d'armes à feu ou d'explosifs (mines,

spectacle, pétards d'alerte), de nombreux métiers ou secteurs d'activités sont concernés, à plus ou moins grande échelle. L'enquête SUMER 2010 dresse d'ailleurs une liste des secteurs d'activités les plus exposés : métallurgie et fabrication de produits métalliques, construction, fabrication, réparation et installation de machines et d'équipements, travail du bois, industries du papier et imprimerie, fabrication de produits en caoutchouc et en plastique ainsi que d'autres produits minéraux non métalliques, production et distribution d'eau (assainissement, gestion des déchets et dépollution), fabrication de matériels de transport, fabrication d'équipements électriques, fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac, industrie chimique, transports et entreposage, fabrication de textiles, industrie de l'habillement, industrie du cuir et de la chaussure, agriculture, sylviculture et pêche, activités de services administratifs et de soutien, réparation d'automobiles et motocycles [1]. L'exposition à des bruits impulsionsnels ne constitue donc pas un problème marginal et ne doit pas être sous-estimée, en particulier par les services de santé au travail.

Si de nombreux travaux ont été menés depuis plus de cinquante

## Bruits impulsionsnels, un danger mal connu ?

ans afin de caractériser ces bruits, d'évaluer les risques auditifs induits par ces derniers en milieu professionnel et d'identifier les moyens de s'en protéger au mieux, la problématique des bruits impulsionsnels et les questionnements associés demeurent d'actualité.

### QUELLE EST LA DÉFINITION D'UN BRUIT IMPULSIONNEL ?

Contrairement au bruit continu, le bruit impulsionsnel a une durée très courte et sa dangerosité est directement liée à son niveau élevé. En fonction de l'activité, il peut aussi se répéter avec une certaine récurrence (on pensera par exemple à tous les travaux de martelage, **photo 1**). La **figure 1** présente de manière schématique la différence de répartition temporelle existant entre un bruit continu et une succession de bruits impulsionsnels. Concernant la forme de l'onde acoustique, on peut caractériser le bruit impulsionsnel *via* différentes grandeurs : le niveau maximum atteint (niveau pic ou niveau crête en dB SPL<sup>(1)</sup>), le temps de montée, la durée de l'impulsion, l'énergie acoustique transportée. La **figure 2** illustre ces grandeurs sur une onde acoustique schématique. Les formes d'ondes réelles étant très variées et parfois complexes, les grandeurs citées ci-dessus sont parfois difficiles à quantifier avec exactitude.

La forme de l'onde est étroitement liée à la répartition de l'énergie selon les fréquences (spectre). Plus l'impulsion est courte, plus l'étalement en fréquence est large : le spectre des bruits impulsionsnels s'étale ainsi généralement sur la totalité des fréquences audibles. Mais si la pondération (A) est appliquée pour les bruits continus, c'est

la pondération (C) qui est d'usage pour les bruits impulsionsnels. Cette dernière, prenant plus en compte les basses fréquences que la pondération (A), conduit, à spectre équivalent, à « pénaliser » le bruit impulsionsnel par rapport au bruit continu : cet usage fait donc l'hypothèse implicite d'une dangerosité accrue de ce type de bruits (*cf. paragraphe Quels effets sur la santé auditive ?*). Comme pour les bruits continus, les sources de grandes dimensions (tir d'un canon par exemple) génèrent des sons contenant plus de basses fréquences que ceux des petites sources. Ce constat aura de l'importance lorsqu'il s'agira de se protéger efficacement (*cf. paragraphe Comment se protéger ?*), les basses fréquences étant plus difficiles à atténuer par les matériaux absorbants ou isolants.

La définition d'un bruit impulsionsnel a évolué dans le passé [2] et n'a pas toujours fait l'unanimité d'un pays à l'autre. En France, même aujourd'hui, on retrouve différentes définitions. La norme ISO 1996-2 [3] (dédiée à la détermination des niveaux de bruit de l'environnement) qualifie le caractère impulsif d'un son pendant un intervalle de temps *t* spécifié. La définition complète de la norme, malgré une tech-

nicité apparente, n'en demeure pas moins très vague : l'impulsivité y est seulement considérée *via* une émergence de niveau sur une durée « courte » *t* non précisée. La norme NF EN 458 (2016) (dédiée aux recommandations d'usage des protections auditives) [4] décrit quant à elle un bruit impulsionsnel comme un « brusque changement de pression acoustique consistant en un événement unique ou une série irrégulière d'impulsions »<sup>(2)</sup>. Ainsi, à l'heure actuelle, aucune définition précise et quantifiée des bruits impulsionsnels n'est en vigueur.

### L'HYPOTHÈSE D'ÉNERGIE ÉQUIVALENTE

Aujourd'hui, les niveaux crêtes, sous l'hypothèse d'énergie équivalente (EEH - *Equivalent Energy Hypothesis*), sont les seuls critères d'estimation des risques auditifs dus aux bruits impulsionsnels. En effet, la norme ISO 1999:2013 (en application actuellement) se base sur une généralisation de l'EEH qui suppose que le traumatisme associé à une exposition sonore donnée est fonction de l'énergie sonore totale reçue par l'oreille [5].

1. dB SPL : Sound Pressure Level. Niveau de pression sonore mesuré ayant pour référence le seuil d'audition absolu de l'oreille humaine (0 dB).

2. On peut tout de même noter une volonté de prendre en compte le contenu fréquentiel des bruits impulsionsnels dans la norme NF EN 458 [4]. En effet, en annexe B de cette norme dédiée aux recommandations relatives à la sélection, à l'utilisation, aux précautions d'emploi et à l'entretien des protecteurs individuels contre le bruit, on trouve une classification des bruits impulsionsnels par contenu fréquentiel (3 types de bruits sont différenciés) et une décote de la protection estimée des protecteurs est proposée en fonction de la classe.



Photo 1 : Martelage manuel lors de la fabrication de tonneau.

© Gaël Kerbaol - INRS

Figure 1 : Schématisation de la différence temporelle entre bruit impulsionnel et bruit continu.

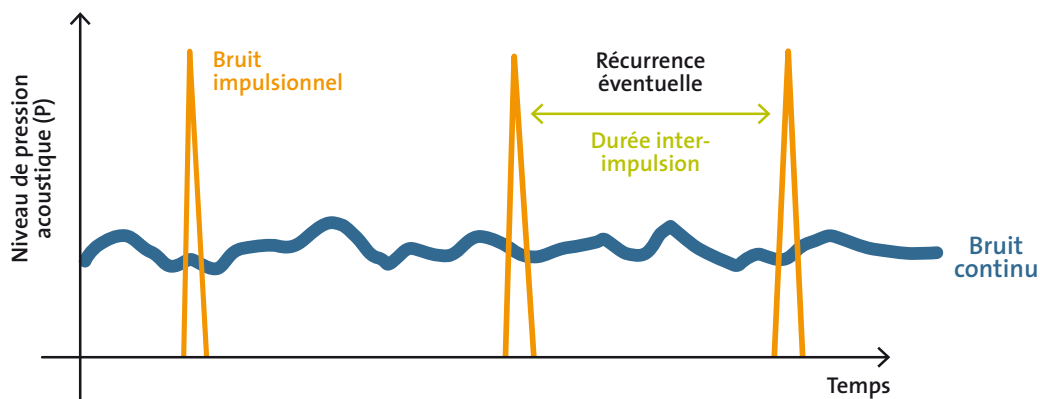


Figure 2 : Forme d'onde idéalisée et grandeurs caractéristiques.

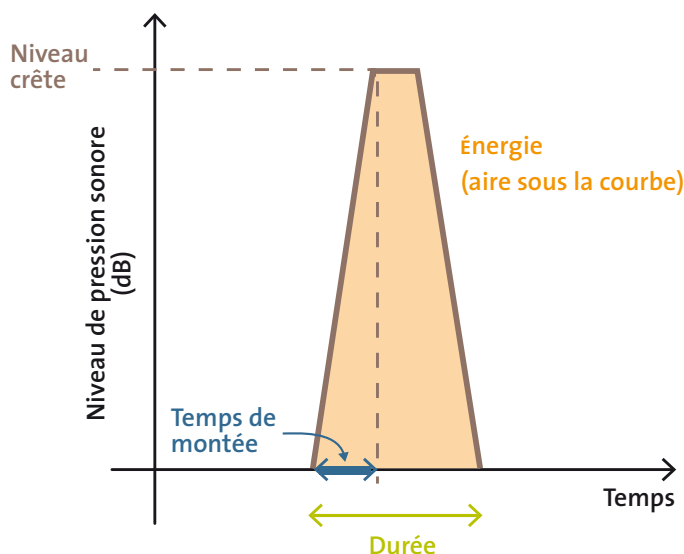
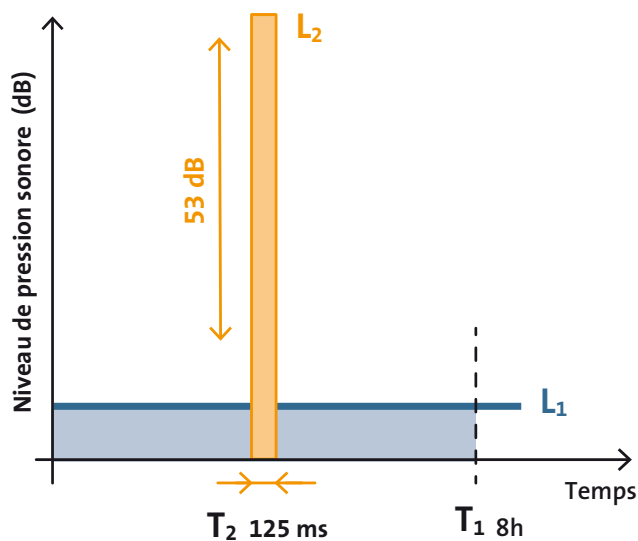


Figure 3 : Illustration de l'hypothèse d'équivalence énergétique.



Cette hypothèse considère donc le niveau d'énergie comme unique indicateur des risques potentiels de dommages pour l'audition, sans considération des autres propriétés de l'onde sonore. La **figure 3** illustre ce principe : l'aire sous la courbe représente l'énergie sonore qui pourrait être reçue par l'oreille (la dose de bruit). En tenant compte de l'échelle logarithmique des décibels, cela consiste à tolérer deux fois moins de temps d'exposition chaque fois que le niveau augmente de 3 dB (4 fois moins pour 6 dB, 10 fois moins pour 10 dB). Au final, on note qu'une dose de bruit d'un niveau  $L_1$  reçu pendant un temps  $T_1$  de 8 heures est équivalente à une dose d'un niveau  $L_2 = L_1 + 53$  dB reçu pendant un temps très court  $T_2 = 125$  ms<sup>(3)</sup>.

Mais l'hypothèse énergétique est-elle vraiment valide pour les bruits impulsionnels ? En 1980, une étude trouve que, pour des niveaux d'exposition similaires, des travailleurs officiant dans un environnement sonore « hautement fluctuant » ou exposés à des « valeurs crêtes élevées ponctuelles » présentent des dommages auditifs significativement plus importants que ceux travaillant dans un environnement sonore relativement stable [6]. Le même constat a été fait pour les travailleurs confrontés à un environnement superposant bruit continu et impulsions [7]. En 1991, après avoir trouvé des pertes plus

3. Cette durée n'est pas donnée au hasard mais a constitué une limite courante de la métrologie des années 60.

## Bruits impulsifs, un danger mal connu ?

4 Pour une étude bibliographique détaillée, on se référera à [2].

importantes chez des employé(e)s des chemins de fer que chez une population témoin, des pertes additionnelles sont identifiées pour les fréquences les plus élevées chez les sujets ayant utilisé des armes à feu à un moment de leur vie [8]. En 2007, des pertes auditives sont rapportées chez 65 % des travailleurs d'une forge américaine utilisant pourtant des protections auditives [9]. Les quelques exemples précédents illustrent parfaitement les conclusions d'un très grand nombre d'études (par exemple [10 à 14]) menées en milieu professionnel<sup>4</sup>. Ainsi, à énergie équivalente, les bruits impulsifs impliquent un risque auditif plus important que les bruits continus. Les conclusions de ces différentes études mettent donc à mal la base même de la norme actuelle et des méthodes d'évaluation des risques pour les bruits impulsifs [2]. Afin d'intégrer ce constat, des facteurs correctifs (pénalités attribuées aux bruits impulsifs) ont été proposés par le passé. La diversité des approches internationales quant à la définition des bruits impulsifs se retrouve d'ailleurs dans ces pénalisations. Ainsi, une variété de valeurs correctives (allant de 3 dB à 10 dB) a été jadis suggérée en se basant sur des critères énergétiques (énergie pondérée, niveau crête), temporels (durée d'exposition, durée de repos), d'impulsivité, de nombre d'impulsions, voire du type d'environnement. Aujourd'hui aucune correction n'est plus appliquée, si ce n'est d'utiliser la pondération (C).

### QUE DIT LA RÉGLEMENTATION ?

Malgré la difficulté à définir un bruit impulsif (et ses gran-

#### ↓ Encadré 1

##### > LES LIMITES PRÉVUES PAR LA RÉGLEMENTATION ET LES OBLIGATIONS DE L'EMPLOYEUR

La directive 2003/10/CE [15] transposée dans le Code du travail (articles R. 4431-1 et suivants) impose les limites suivantes :

- le niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h}$  ne doit pas dépasser une valeur limite d'exposition (VLE) de 87 dB(A) sous protecteur, des protecteurs individuels contre le bruit (PICB) devant être mis à disposition à partir d'une valeur d'exposition de 80 dB(A) et portés obligatoirement à partir de 85 dB(A) (valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action, VAS) sans protecteur ;
- le niveau acoustique de crête  $L_{pc}$  ne doit pas dépasser une VLE de 140 dB(C) sous protecteur, des PICB devant être mis à disposition à partir d'une valeur d'exposition de 135 dB(C) et portés obligatoirement à partir de 137 dB(C) (VAS) sans protecteur.

L'employeur se doit d'évaluer les risques auxquels sont exposés ses salariés. De même, l'employeur doit prendre des mesures de prévention visant à supprimer ou à réduire au minimum les risques résultant de l'exposition au bruit (réduction à la source, organisation du travail, protections individuelles contre le bruit).

deurs caractéristiques) et malgré la contestation possible de l'EEH, il existe une réglementation basée sur les connaissances scientifiques et les possibilités techniques de mesure. Comme expliqué précédemment, l'énergie équivalente et les niveaux crêtes sont les seuls critères d'estimation des risques auditifs indiqués dans la norme ISO 1996-2 [3] et aucune pénalisation n'est plus appliquée. Les limites réglementaires d'exposition sont donc basées sur le même principe d'équivalence énergétique, que ce soit pour les bruits impulsifs ou pour les bruits continus, les valeurs limites d'exposition étant fixées à un niveau de pression acoustique de crête de 140 dB(C) ou un niveau d'exposition quotidienne au bruit de 87 dB(A) (encadré 1). Concernant la réparation en cas de traumatisme lié à une exposition à des bruits impulsifs, aucune spécificité n'est envisagée dans le tableau n° 42 des maladies professionnelles, si ce n'est une citation des bruits impulsifs en filigrane : travaux sur métaux par percussion, emploi ou destruction de munitions ou d'explosifs, utilisation de pistolets de scellement, par exemple.

### QUELS EFFETS SUR LA SANTÉ AUDITIVE ?

#### LE RISQUE INDUIT PAR UNE EXPOSITION À DES BRUITS IMPULSIONNELS EST-IL LE MÊME QUE POUR DES BRUITS CONTINUS ?

L'hypothèse d'énergie équivalente est contestée, cela a été discuté plus haut. Si, d'un point de vue général, les effets du bruit sur l'audition peuvent se retrouver, tant pour les bruits continus que pour les bruits impulsifs, sous forme de pertes auditives temporaires (*Temporary Threshold Shift*), de pertes auditives permanentes (*Permanent Threshold Shift*), d'acouphènes, d'hyperacousie..., l'exposition à des bruits impulsifs de niveaux élevés (pouvant coexister avec un bruit de fond continu élevé lui aussi) engendrent des pertes plus importantes ou apparaissant plus rapidement que chez les travailleurs soumis à un bruit continu de niveau équivalent. Dans certaines conditions, les bruits impulsifs seraient donc, de par leur nature, potentiellement plus dangereux qu'un bruit continu de niveau équivalent. Des pertes per-

manentes peuvent également apparaître à la suite de traumatismes sonores aigus (TSA) liés à la soudaineté et l'intensité de ces derniers. Pour les bruits impulsionnels, les pertes ne sont donc pas exclusivement liées au niveau (elles peuvent également dépendre du spectre, de l'enveloppe temporelle...), même s'il n'en demeure pas moins le premier paramètre à considérer dans la relation entre les propriétés des bruits impulsionnels et les risques encourus pour l'audition. Au final, l'EEH s'avère donc insatisfaisante du fait qu'elle ignore de nombreux attributs du bruit tels que la distribution temporelle, le temps de montée ou la distribution spectrale (considérant toutes les fréquences de manière similaire et indépendante). Ainsi, si l'EEH est séduisante de par sa simplicité d'application (elle nécessite uniquement des mesures de niveaux), le risque de sous-estimation de la dangerosité de l'exposition à des environnements impulsionnels est important. Plusieurs travaux ont d'ailleurs tenté de chiffrer cette sous-estimation des pertes : les risques de pertes pour des employés exposés à des bruits impulsionnels de types industriels sont alors de 6 à 20 dB (en fonction des propriétés des *stimuli*) supérieurs à la prédiction théorique pour une exposition à un bruit continu de niveau  $L_{Aeq}$  équivalent [9, 14].

### QUELS MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES SONT MIS EN ŒUVRE ?

Les effets sur l'audition des bruits impulsionnels peuvent être différents de ceux induits par des bruits continus. Dès 1986, Erdreich fait remarquer que, pendant longtemps, les tentatives visant à évaluer les risques induits par une exposition à des bruits impulsionnels ont omis de prendre en compte les mécanismes impliqués dans

les dommages subis par l'oreille [16]. Ceci explique en partie les lacunes quant à la définition même des bruits impulsionnels et quant aux paramètres à considérer afin d'estimer leur dangerosité. En se basant sur l'énergie, tout en ignorant la manière dont celle-ci est absorbée par le récepteur auditif périphérique, la législation actuelle fait fi de certains fonctionnements de l'oreille. Or, outre les niveaux crêtes élevés, la nocivité des bruits impulsionnels peut également s'expliquer par l'opposition entre leur rapidité de pénétration dans le système auditif et la latence d'un mécanisme de protection de l'oreille moyenne : le réflexe stapédien. Ce réflexe correspond à la contraction involontaire des deux muscles de l'oreille moyenne (le muscle stapédien et le muscle du marteau), permettant l'atténuation des niveaux sonores transmis à l'oreille interne. Le seuil du réflexe stapédien se situe, chez l'homme, à environ 80 dB, son amplitude augmentant avec le niveau de la stimulation (environ 0,6 dB/dB) [17]. La protection induite pour l'oreille interne est d'environ 10 dB et la durée potentielle de protection du muscle stapédien diminue avec le niveau de la stimulation. La latence du réflexe varie ainsi de 150 ms à 80 dB à 25-35 ms à fort niveau, impliquant une dangerosité accrue des bruits impulsionnels pour l'oreille, de par leur temps de montée très court (de l'ordre de quelques millisecondes), une unique impulsion pouvant provoquer des dommages immédiats. La mise en place du réflexe est alors suivie d'une période de veille protectrice laissant supposer que les dommages causés par l'exposition à une série d'impulsions dépendent également du rapport entre le taux d'apparition des impulsions et la durée de cette veille. Il est important de noter

que la latence du réflexe stapédien peut être altérée par des agents chimiques [18]. Il convient donc, par exemple, dans le cas d'une reprise du travail après un traitement médical donné, de prendre en considération cet aspect afin de ne pas mettre en danger l'audition du/de la travailleur/se.

L'impulsivité, les aspects temporels ou le spectre sont donc totalement ignorés, tant, on l'a vu, dans la définition même d'un bruit impulsionnel que dans les mesures préventives. En faisant abstraction de ces aspects, on ignore, en plus du réflexe de protection, certains mécanismes de l'oreille tels que le temps de récupération ou la sensibilité fréquentielle. Le temps de pause inter-impulsions va, par exemple, permettre une récupération de l'oreille. L'impact du *pattern* temporel va d'ailleurs être corrélé aux deux points précédents : (1) l'oreille est plus vulnérable si une impulsion trop rapide prend de vitesse le réflexe ; (2) si les impulsions suivantes arrivent lorsque le réflexe est enclenché, alors, en plus du choc initial et des dommages possibles, une fatigue intervient ; (3) si la veille protectrice arrive à son terme, l'impulsion suivante prend à nouveau de vitesse le réflexe et aggrave les dommages.

### PEUT-ON MESURER FACILEMENT UN BRUIT IMPULSIONNEL ?

Étant données les propriétés des bruits impulsionnels, leur caractérisation nécessite un matériel et un protocole appropriés. En effet, compte tenu des niveaux de crête importants, le recours à des dosimètres peu performants peut parfois être inadapté en raison des risques de saturation des

## Bruits impulsions, un danger mal connu ?

microphones. Ainsi, afin de pouvoir caractériser avec certitude les impulsions (et donc l'exposition), il est nécessaire d'avoir recours à un microphone « forts niveaux » pouvant tolérer jusqu'à 170 dB(C). La rapidité du temps de montée des impulsions (souvent de l'ordre de quelques millisecondes) peut également fausser les résultats des mesures. En effet, les constantes d'intégration des appareils de mesure doivent être adaptées aux caractéristiques de l'environnement sonore. Pour des bruits impulsions, même la constante d'intégration la plus faible généralement disponible aujourd'hui dans les appareils courants (35 ms) peut s'avérer trop longue pour les impulsions très courtes et fournir une valeur de crête plus faible que la réalité. Il convient donc de considérer les mesures avec prudence lorsque l'on se trouve en présence d'un environnement sonore impulsions. Pour toutes ces raisons, une évaluation fine nécessitera de faire appel à des spécialistes disposant de l'équipement adéquat, ainsi que du savoir-faire nécessaire à l'analyse des données. Malgré tout, il demeure possible d'établir une première évaluation en effectuant par exemple un comptage du nombre de fois où, quotidiennement, les niveaux 135 dB(C), 137 dB(C) et 140 dB(C) sont dépassés (*encadré 1*). De cette manière, il est possible d'estimer dans quelle mesure les salariés apparaissent, du point de vue de la norme, exposés à des situations à risque pour leur audition et d'agir en conséquence.

### COMMENT SE PROTÉGER ?

Réduire l'exposition au bruit doit d'abord passer par des mesures de protection collectives telles que

l'enceinte des machines, le traitement acoustique des locaux, l'éloignement des sources de bruit, la modification des procédés ou de l'organisation du travail, etc. Si ces mesures sont parfois efficaces pour l'opérateur proche du procédé générateur de bruits impulsions, elles le sont d'autant plus pour les opérateurs qui subissent une exposition indirecte. En cas d'insuffisance de ces actions collectives, le port de PICB devient nécessaire. D'ailleurs, la législation se base sur des valeurs d'exposition (limites, supérieures et inférieures), imposant ou suggérant (selon ces valeurs), l'utilisation de PICB. Le rôle de ces derniers sera alors de ramener l'exposition effective sous ces valeurs, afin d'assurer la santé auditive des travailleurs (*cf. encadré 1*). Or, il est important de garder à l'esprit que l'efficacité des protecteurs individuels, objectivée par les valeurs d'atténuation fournies par les fabricants, est toujours mesurée par les organismes de certification pour des bruits continus. Rien ne permet d'affirmer que cette efficacité est similaire pour les bruits impulsions, même si l'atténuation fournie par les protecteurs est en général supposée constante jusqu'à un certain niveau d'exposition (140 dB SPL) [19]. Au-delà, cette atténuation varie avec le niveau sonore de manière plus ou moins importante en fonction des protecteurs testés [19]. Pour certains protecteurs une non-linéarité peut même apparaître à partir de 110 dB SPL [20]. La question se pose donc de la protection effective des personnes pour des bruits impulsions, comme le suggère une récente étude menée auprès d'officiers de police présentant, à long terme et dans le cas d'une exposition chronique à des bruits impulsions (entraînement au tir), des pertes plus importantes, malgré l'utilisation de (doubles) protections [21].

Le problème peut alors venir des valeurs limites réglementaires trop élevées, d'un mauvais positionnement des protecteurs affectant leur efficacité réelle ou d'une mauvaise connaissance (ou considération) de l'exposition réelle subie sous les protecteurs... Concernant le dernier point, les altérations subies par le signal acoustique sont effectivement omises (il est considéré que l'effet du protecteur se résume à une réduction du niveau par bandes de fréquence d'octave ou tiers d'octave) et les différences entre le signal en champ libre et le signal entrant dans l'oreille interne sont ignorées. On peut alors se trouver face à une mauvaise évaluation des risques. On pourra citer en exemple l'étude de l'efficacité du serre-tête anti-bruit utilisé par l'armée finlandaise [22]. Celle-ci a été évaluée pour différents types d'armes et, si pour les petits calibres, la réduction du niveau crête est de quasiment 30 dB, elle chute à 4 dB pour un canon 130 mm. Cette différence d'efficacité est certainement liée au contenu basses-fréquences de ce type de bruits ainsi qu'au niveau très élevé. Ainsi, si des travailleurs sont soumis à des impulsions de forts niveaux et portent des protecteurs, la protection effective peut fortement varier en fonction des propriétés du bruit et de celles du protecteur. Les dommages potentiels ne sont donc pas forcément complètement éliminés par le port de protections et il convient d'être toujours prudent en cas d'exposition à des bruits impulsions de niveaux importants.

### CONCLUSION

La dangerosité des bruits impulsions est un fait avéré. Or, même si l'enquête SUMER 2010 [1] indique un pourcentage trop élevé de per-

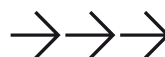
sonnes n'utilisant toujours pas de protections auditives, cette même enquête montre que la majorité des personnes exposées à des niveaux élevés ont conscience des dangers du bruit et se protègent en conséquence. L'effet des protecteurs auditifs est estimé *via* la valeur de protection affichée par les fabricants (leur atténuation). En complément, pour les bruits impulsifs, la distribution fréquentielle peut également être considérée *via* un facteur correctif dépendant du type de bruit (cf. norme NF EN 458 [4]). Malgré tout, on ignore encore l'effet des protecteurs sur certaines propriétés du signal sonore : réduction effective des niveaux, augmentation du temps de montée, étalement temporel et augmentation de la durée, distorsion etc. Ceci pose la question de la protection réelle des travailleurs et de la validité des critères de prévention, l'efficacité étant liée aux propriétés du bruit reçu et à celles du protecteur. Ceci confirme la nécessité, à terme, de prendre en considération l'effet des protecteurs *via* d'autres critères que les niveaux de crête et équivalent et de développer des protocoles d'évaluation de l'efficacité des PICB pour une variété de bruits impulsifs<sup>5</sup>. Malgré tout, il n'en demeure pas moins qu'en cas d'exposition à des environnements bruyants et fortement impulsifs qu'on ne saurait pas combattre immédiatement par des protections collectives, les travailleurs doivent être absolument protégés. En l'état actuel des connaissances, on considère donc que le port d'un protecteur (simple ou double) est indispensable afin de limiter l'exposition des travailleurs et de préserver leur audition. En plus de la prise en compte de tous les critères ergonomiques habituels de sélection des protections, le choix doit être effectué, pour les bruits impulsifs, en fonction des ni-

*5. Un travail est engagé actuellement par les groupes de normalisation (CEN/TC159 Protecteurs de l'audition) pour définir des méthodes de certification de l'atténuation des bruits impulsifs par les protecteurs auditifs.*

veaux d'exposition mais également du spectre des bruits.

Un problème se pose tout de même pour les environnements peu bruyants et pour lesquels des bruits impulsifs peuvent apparaître de façon imprévisible. Soit les travailleurs portent des protecteurs qui risquent de les surprotéger la majeure partie du temps et potentiellement réduire les possibilités de communication, l'intelligibilité, voire les mettre en danger si des signaux d'alerte ne sont pas entendus, soit les travailleurs ne portent pas de protecteurs mais sont potentiellement exposés à des bruits impulsifs pouvant engendrer des dommages immédiats. De nos jours, ces environnements sont peut-être les plus problématiques. Les risques sont d'ailleurs probablement mal compris des entreprises et des travailleurs, du fait de la ponctualité des impulsions et du manque de communication concernant les risques immédiats pour l'audition (ceci pourrait expliquer le fort pourcentage de travailleurs exposés ne se protégeant pas). Le port préventif de protecteurs va alors dépendre du type d'activité et des besoins de communication avec l'extérieur. Dans certains cas, une atténuation dépendant du niveau d'exposition devra alors être envisagée (grâce à un système électronique, l'atténuation est ajustée en fonction du niveau sonore environnant).

BIBLIOGRAPHIE  
PAGE SUIVANTE





Bruits impulsifs,  
un danger mal connu ?

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Surveillance médicale des expositions aux risques professionnels (SUMER) : édition 2010. Ministère du travail, 2013 (<https://dares.travail-emploi.gouv.fr/dares-etudes-et-statistiques/enquetes/article/surveillance-medicales-des-expositions-aux-risques-professionnels-sumer-edition>).
- 2 | TERROIR J - Étude bibliographique sur la dangerosité des bruits impulsifs. Note scientifique et technique NS 365. Paris : INRS ; 2019 : 61 p.
- 3 | Acoustique. Caractérisation et mesurage du bruit de l'environnement. Partie 2 : Saisie des données pertinentes pour l'utilisation des sols. Norme ISO 1996-2 : 1987 (F). Genève : Organisation internationale de normalisation (ISO) ; 1987 : 9 p.
- 4 | Protectors individuels contre le bruit. Recommandations relatives à la sélection, à l'utilisation, aux précautions d'emploi et à l'entretien. Document guide. Norme française homologuée NF EN 458. Avril 2016. Indice de classement S 78-502. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2016 : 56 p.
- 5 | ROBERTO M, HAMERNIK RP, SALVI RJ, HENDERSON D ET AL. - Impact noise and the equal energy hypothesis. *J Acoust Soc Am*. 1985 ; 77 (4) : 1514-20.
- 6 | VOIGT P, GODENHJELM B, OSTLUND E - Impulse noise. Measurement and assessment of the risk of noise induced hearing loss. *Scand Audiol Suppl*. 1980 ; Suppl 12 : 319-25.
- 7 | CEYPEK T, KUZNIARZ JJ, LIPOWCZAN A - Hearing Loss due to Impulse Noise. A Field Study. In: Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem. Dubrovnik, Yugoslavia, May 13-18 1973. Washington : US Environmental Protection Agency (EPA) ; 1973 : 219-28, 784 p.
- 8 | KRZYTER KD - Hearing loss from gun and railroad noise. Relations with ISO standard 1999. *J Acoust Soc Am*. 1991 ; 90 (6) : 3180-95.
- 9 | ZECHMANN EL, BRUECK S, MURPHY WJ - Impulsive occupational exposure for workers in drop-forging foundries. *J Acoust Soc Am*. 2008 ; 123 (5) : 3 679.
- 10 | DIEROFF HG - The mechanism of impulse-noise-induced hearing loss in industry and its resulting measurement problems. *Scand Audiol Suppl*. 1980 ; Suppl 12 : 249-56.
- 11 | MANTYSALO S, VUORI J - Effects of impulse noise and continuous steady state noise on hearing. *Br J Ind Med*. 1984 ; 41 (1) : 122-32.
- 12 | STARCK J, PEKKARINEN J, PYYKKÖ I - Impulse noise and hand-arm vibration in relation to sensory neural hearing loss. *Scand J Work Environ Health*. 1988 ; 14 (4) : 265-71.
- 13 | ZHAO YM, QIU W, ZENG L, CHEN SS ET AL. - Application of the kurtosis statistic to the evaluation of the risk of hearing loss in workers exposed to high-level complex noise. *Ear Hear*. 2010 ; 31 (4) : 527-32.
- 14 | BRUEL PV - Do we measure damaging noise correctly? *Noise Control Eng*. 1977 ; 8 (2) : 52-60.
- 15 | Directive 2003/10/CE du parlement européen et du Conseil du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit) (dix-septième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE). 2003.
- 16 | ERDREICH J - A distribution based definition of impulse noise. *J Acoust Soc Am*. 1986 ; 79 (4) : 990-98.
- 17 | DANCER A - Le traumatisme acoustique. *Méd Sci*. 1991 ; 4 (7) : 357-67.
- 18 | CAMPO P, VENET T, THOMAS A, COUR C ET AL. - Neuropharmacological and cochleotoxic effects of styrene. Consequences on noise exposures. *Neurotoxicol Teratol*. 2014 ; 44 : 113-20.
- 19 | MURPHY WJ, FLAMME GA, MEINKE DK, SONDERGAARD J ET AL. - Measurement of impulse peak insertion loss for four hearing protection devices in field conditions. *Int J Audiol*. 2012 ; 51 Suppl 1 : S31-42.
- 20 | DANCER A, BUCK K, HAMERY P, PARMENTIER G - Hearing Protection in the Military Environment. *Noise Health*. 1999 ; 2 (5) : 1-16.
- 21 | WU CC, YOUNG YH - Ten-year longitudinal study of the effect of impulse noise exposure from gunshot on inner ear function. *Int J Audiol*. 2009 ; 48 (9) : 655-60.
- 22 | YLIKOSKI J, PEKKARINEN J, STARCK J - The efficiency of earmuffs against impulse noise from firearms. *Scand Audiol*. 1987 ; 16 (2) : 85-88.

# L'infection à cytomégalovirus : où en est-on ?

## EN RÉSUMÉ

Souvent bénigne, l'infection à cytomégalovirus (CMV) peut être grave et entraîner des séquelles importantes en cas d'infection *in utero* ou chez les immunodéprimés. En milieu professionnel, les femmes enceintes travaillant en crèche ont un risque accru de contracter le CMV. Le strict respect des mesures d'hygiène et l'information des femmes enceintes ou en âge de procréer constituent les seules recommandations qui font consensus. Le dépistage systématique n'est pas recommandé [1].

Annule et remplace l'article référencé TP 28 de 2017 portant le même titre.

### AUTEUR :

D. Abiteboul, département Études et assistance médicales, INRS

### MOTS CLÉS

Grossesse / Femme enceinte / Risque biologique / Agent biologique

**L'**infection à cytomégalovirus (CMV), en général bénigne, est préoccupante pour deux catégories de personnes : les immunodéprimés avec des formes sévères et les femmes enceintes du fait du risque encouru par le fœtus en cas d'infection *in utero*. C'est l'infection congénitale la plus fréquente dans les pays développés. En milieu de travail, la conduite à tenir face aux femmes susceptibles d'être exposées en âge de procréer ou enceintes soulève des questions. Des évolutions récentes dans les méthodes de diagnostic, les outils permettant d'évaluer le pronostic et les traitements ont justifié que le Haut Conseil de la Santé publique (HCSP) actualise, en 2018 [1], les recommandations sur les modalités de prévention de cette infection et notamment sur l'indication du dépistage systématique chez les femmes enceintes et le nouveau-né.

1. L'étude de la morphologie des cellules infectées a montré la présence de grandes cellules à inclusion intranucléaire dites inclusions cytomégaliqes.

tomégaliqes<sup>1</sup> (d'où son nom), est finalement isolé en 1956. Il appartient à la famille des *herpesviridae* ; son unique réservoir est l'homme. Le CMV infecte de nombreux types cellulaires chez l'hôte infecté, expliquant la variété des manifestations cliniques. Il peut rester latent dans de nombreux organes, comme les autres virus du groupe *Herpès*, et être ainsi à l'origine de réactivations et aussi de transmission au receveur lors de transplantation. Des réinfections avec une nouvelle souche virale sont également possibles.

On le retrouve dans de nombreux liquides biologiques : sang, urines, sécrétions des voies aériennes supérieures, sécrétions génitales, salive, lait, liquide lacrymal [1 à 3]. La période de contagiosité va de plusieurs jours à plusieurs semaines, voire des mois chez les jeunes enfants et les immunodéprimés.

Il s'agit d'un virus fragile, sensible aux méthodes de désinfection habituelles mais qui peut résister quelques heures sur des surfaces et des objets [4].

Il se transmet le plus souvent par contact avec les muqueuses par l'intermédiaire des gouttelettes de sécrétions oro-pharyngées ou des mains souillées par des liquides biologiques infectés (urines, sa-

## PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE L'INFECTION À CYTOMÉGALOVIRUS

### LE CYTOMÉGALOVIRUS (CMV)

Le CMV, connu depuis 1904, à travers l'observation d'inclusions cy-

## L'infection à cytomegalovirus : où en est-on ?

2. La déleucocytation est un processus qui consiste à diminuer le nombre de leucocytes (globules blancs) dans le sang, les globules blancs hébergeant des agents pathogènes dont ils peuvent être les vecteurs : cette technique permet de limiter le risque d'infection transmise par transfusion.

3. Un syndrome mononucléosique se caractérise par la présence dans le sang d'une proportion accrue de certaines catégories de globules blancs : plus de 50 % de cellules mononucléées et plus de 10 % de lymphocytes activés (taille augmentée, coloration basophile). Les pathogènes les plus fréquemment en cause sont : l'EBV (virus Epstein-Barr, agent de la mononucléose infectieuse), le CMV, le VIH et le toxoplasme.

4. Le test de mesure d'avidité des IgG anti-CMV permet de différencier une primo-infection récente d'une infection ancienne. En effet, les immunoglobulines de type IgG synthétisées au moment d'une primo-infection récente possèdent une faible avidité pour l'antigène par rapport à celles synthétisées lorsque l'infection est plus ancienne et lors des infections secondaires. En pratique, on mesure après traitement par un agent dénaturant la dissociation de la liaison antigène-anticorps. Les niveaux d'avidité sont rapportés comme des indices d'avidité, exprimant le pourcentage d'IgG lié à l'antigène.

live...) ou, plus rarement, par un support inerte fraîchement souillé (le virus perd en quelques heures son pouvoir infectant dans le milieu extérieur) [3]. Une transmission sexuelle (sperme, glaire) est également possible, prédominant chez l'adulte. La déleucocytation des concentrés globulaires<sup>2</sup> a réduit le risque transfusionnel mais il persiste lors des greffes d'organes ou de moelle. Une transmission de la mère à l'enfant est également possible. Celle-ci sera développée plus loin (cf. infra).

### ÉPIDÉMIOLOGIE

L'infection à CMV est répandue dans le monde entier et sa prévalence est variable selon les régions géographiques et les statuts socio-économiques. Elle peut atteindre 90 à 100 % à l'âge adulte dans les pays en voie de développement [3, 5, 6].

L'infection est principalement acquise dans la petite enfance par l'allaitement et les contacts rapprochés en collectivité, avec un 2<sup>e</sup> pic à l'adolescence par transmission sexuelle [3]. En France, la prévalence est voisine de 50 % [1]. Dans une enquête menée en 2010 sur 1 306 femmes, la séroprévalence était de 45,6 % [7].

### MANIFESTATIONS CLINIQUES (HORS GROSSESSE ET INFECTION CONGÉNITALE)

La primo-infection ou infection primaire à CMV reste inapparente dans 90 % des cas chez l'enfant et l'adulte immunocompétent. Dans 10 % des cas, elle se manifeste par un syndrome pseudo-grippal avec fièvre, fatigue, myalgies, lymphadénopathies. Biologiquement on peut retrouver un syndrome mononucléosique<sup>3</sup> voire parfois une cytolysé hépatique. Les complications sont très rares : atteinte pulmonaire à type de pneumopathie

interstitielle, ou troubles neurologiques avec syndrome de Guillain Barré... Les infections secondaires, qui surviennent soit par réactivation du virus primo-infectant soit par ré-infection par une souche exogène différente, sont en général asymptomatiques [1].

Chez la personne immunodéprimée, la réactivation du CMV peut rester également asymptomatique ou donner lieu à une fièvre et des atteintes multi-viscérales : on parle alors de maladie à CMV. Ainsi, chez les personnes infectées par le VIH, la maladie à CMV (en particulier la chorio-rétinite) peut survenir en cas d'immunodépression profonde (taux de lymphocytes CD4 inférieur à 50/mm<sup>3</sup>). Cependant sa fréquence a été beaucoup réduite par l'efficacité des traitements anti-rétroviraux actuels [3]. En cas de greffe d'organes ou de cellules, les conséquences d'une infection à CMV peuvent être gravissimes.

### DIAGNOSTIC BIOLOGIQUE [1, 3, 8]

Il peut se faire de deux façons :

#### ■ Détection de l'ADN viral

Elle est réalisée par PCR (*Polymerase Chain Reaction*) en temps réel, technique rapide de plus en plus utilisée et qui peut être réalisée sur de nombreux liquides biologiques (sang, urines, liquide cébrospinal, liquide amniotique, tissus foetaux... en fonction du contexte clinique).

#### ■ Sérodiagnostic

La détection des anticorps de type Immunoglobulines IgG et IgM est réalisée actuellement par technique Elisa (*Enzyme Linked Immunosorbent Assay*). La détection d'IgM permet de suspecter une primo-infection mais pas toujours d'en affirmer le caractère récent, sauf si l'on dispose d'un sérum précoce négatif. En effet, les IgM peuvent persister plusieurs mois après la primo-infection et être

aussi détectées en cas de ré-infection ou de réactivation. Leur présence peut également être due à des stimulations non spécifiques du système immunitaire induites par une autre infection ou à des réactions croisées [3]. En cas de nécessité de confirmer une primo-infection récente (< 3 mois), notamment en cas de grossesse, l'indice d'avidité<sup>4</sup> des IgG pour l'antigène viral doit être mesuré. L'objectif est de différencier les primo-infections récentes où cet indice est faible des infections anciennes ou secondaires où il est élevé. L'interprétation en reste néanmoins délicate en cas de taux d'IgG faible ou de valeur intermédiaire de l'indice et doit être réservée à un laboratoire expert.

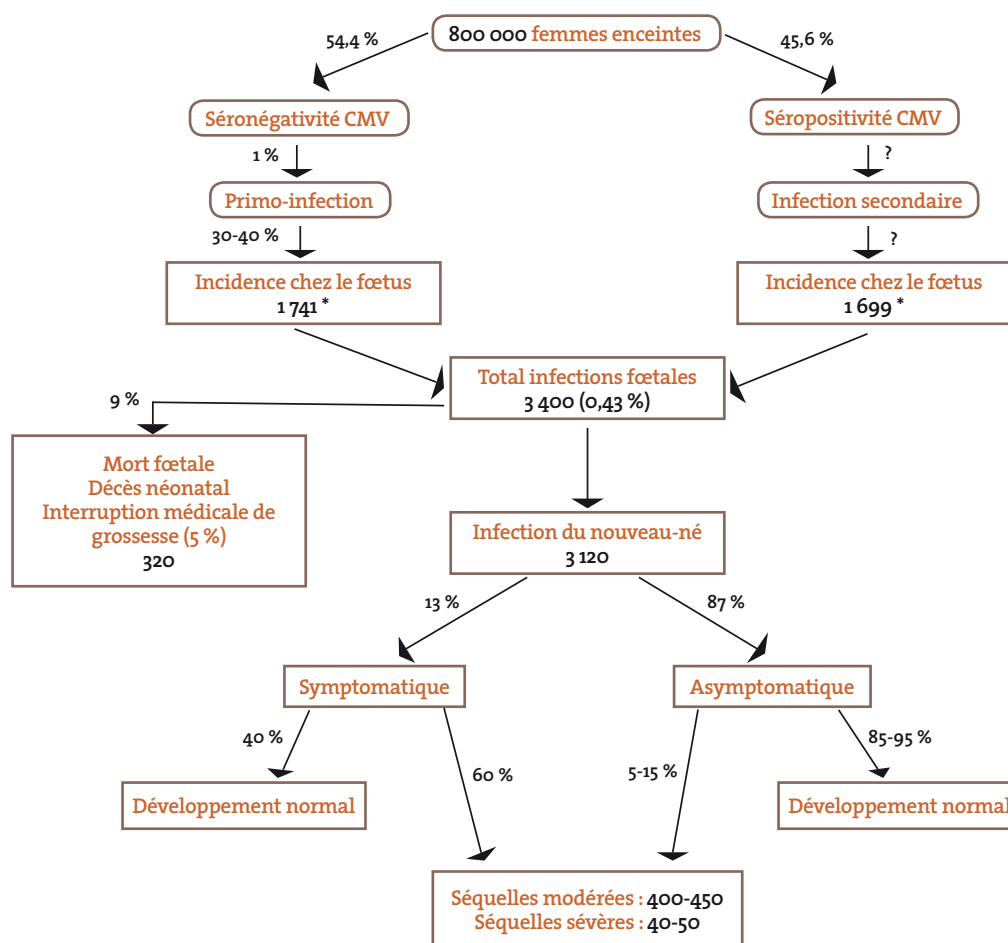
### TRAITEMENT

L'infection à CMV de l'adulte immunocompétent ne requiert qu'un traitement symptomatique. Pour les immunodéprimés, les femmes enceintes et les nouveau-nés, les indications prophylactiques et thérapeutiques des molécules antivirales disponibles (aciclovir, valganciclovir, foscarnet, cidofovir et valaciclovir) relèvent d'une prise en charge spécialisée.

### L'INFECTION CONGÉNITALE À CMV

L'infection congénitale à CMV est la cause non-héréditaire la plus fréquente de surdité chez l'enfant. En France, elle concerne 0,43 % des nouveau-nés (0,2 à 0,61 %), soit environ 3 400 nouveau-nés pour 800 000 naissances annuelles [1] (figure 1). Elle survient après primo-infection maternelle (PIM) : environ 1 % des femmes enceintes séronégatives acquièrent une infection primaire pendant leur gros-

Figure 1 : Estimation des infections materno-fœtales en France d'après [1]



\* Même proportion d'anomalies et de séquelles dans les 2 groupes

resse. Elle peut aussi survenir après infection secondaire (réinfection ou réactivation). En effet, contrairement à d'autres maladies infectieuses (rubéole, toxoplasmose...), une immunité préexistante contre le CMV ne protège pas complètement de la transmission au fœtus [1]. Les données issues de pays à forte séroprévalence montrent que le taux d'infection congénitale dans ces populations est plus élevé que celui observé dans les populations à faible séroprévalence [5]. En France, environ la moitié des nouveau-nés ayant une infection congénitale à CMV est née de mères déjà séropositives pour le CMV avant la grossesse [1] (figure 1).

## TRANSMISSION MÈRE-ENFANT DU CMV

Les facteurs de risque de transmission ont essentiellement été

étudiés chez les femmes séronégatives. Les contacts fréquents et prolongés avec de jeunes enfants représentent un des principaux facteurs de risque de contamination. Ainsi 12 à 20 % des enfants en bonne santé excrètent du CMV dans la salive ou les urines [2]. Un enfant de moins de deux ans atteint d'une infection CMV est le plus souvent asymptomatique mais excrète le virus dans sa salive et ses urines pendant 6 à 42 mois (moyenne 18 mois) [9]. Sont également des facteurs de risque pour la femme séronégative, le jeune âge des enfants (moins de 3 ans), le fait qu'il soit gardé en collectivité, le bas niveau socio-économique mais aussi la séropositivité du conjoint, notamment en cas de séroconversion chez celui-ci [10]. Ce risque de transmission sexuelle du CMV d'un partenaire séropositif

vers une mère séronégative a été étudié dans les couples consultant pour infertilité. Le risque relatif a été estimé à 1,72 si le partenaire est séropositif et à 6,55 en cas de séroconversion chez celui-ci, comparé au risque de 2,65 en cas d'exposition aux jeunes enfants de moins de trois ans [10] (encadré 1).

### ↓ Encadré 1

#### > PRINCIPAUX FACTEURS DE RISQUE DE PRIMO-INFECTION CMV CHEZ LES FEMMES ENCEINTES

- Femme séronégative
- Bas niveau socio-économique
- Mère d'un enfant ≤ 3 ans
- Mère d'un enfant gardé en collectivité
- Profession exposée : crèches, garderie
- Sérologie positive du conjoint

## L'infection à cytomégalo­virus : où en est-on ?

La transmission au fœtus survient principalement *in utero* par voie transplacentaire au cours d'une primo-infection ou d'une infection secondaire chez la mère ; elle peut également se produire lors de l'accouchement par contact avec les sécrétions génitales contaminées ou par l'allaitement. Ces 2 derniers modes de transmission ne donnent jamais lieu à des atteintes sévères, sauf chez le grand prématuré [1, 11, 12].

### CONSÉQUENCES POUR LES ENFANTS INFECTÉS *IN UTERO* PAR LE CMV

(figure 1)

Le taux de transmission au fœtus lors d'une primo-infection maternelle est de 30 à 40 %. Ce taux augmente avec l'âge de la grossesse et serait maximal au 3<sup>e</sup> trimestre. À l'inverse, c'est lorsque la transmission survient au 1<sup>er</sup> trimestre que les atteintes du fœtus sont les plus graves [1, 11, 13]. En ce qui concerne les infections secondaires, leur fréquence et le taux de transmission sont mal connus en l'absence d'études fiables pour les évaluer mais leur responsabilité dans l'infection *in utero* de l'enfant est également importante [14].

En cas d'infection fœtale, la fréquence des anomalies congénitales et le risque de séquelles persistantes semblent similaires quelle que soit la sérologie maternelle en début de grossesse, contrairement à ce qui était affirmé antérieurement [1, 14, 15].

Parmi les nouveau-nés infectés, quel que soit le type d'infection maternelle (primo-infection ou réinfection/réactivation), les estimations récentes pour la France montrent que (figure 1) [1] :

- 13 % sont symptomatiques à la naissance. Environ la moitié de ces nouveau-nés symptomatiques présente une atteinte disséminée

typique : la maladie des inclusions cytomégali­ques. Les anomalies cliniques les plus fréquentes sont alors : retard de croissance, hépatosplénomégalie, microcéphalie, ictère, pétéchies, hypotonie/léthargie, convulsions, associées à diverses anomalies biologiques. En cas de forme disséminée, la mortalité est élevée (20-30 %) et 90 % des enfants qui survivent présentent des séquelles neurosensorielles : retard mental, psychomoteur, surdité progressive sévère, troubles visuels...

Parmi les enfants modérément symptomatiques à la naissance, la majorité aura un développement normal mais 25-35 % seront porteurs de handicaps plus ou moins importants à long terme ;

- 87 % des enfants infectés naissent asymptomatiques. Environ 5 à 15 % développeront néanmoins des séquelles à type de perte auditive neurosensorielle, retard de développement psychomoteur et altération visuelle. Les surdités (séquelles les plus fréquentes) sont bilatérales dans 50 % des cas, en général légères et n'apparaissent parfois que secondairement, plusieurs mois ou années après la naissance. Les nouveau-nés infectés et asymptomatiques nécessitent donc une surveillance clinique, avec un dépistage des troubles de l'audition.

En France, le nombre d'issues défavorables de grossesse liées à l'infection par le CMV (morts fœtales *in utero*, décès néonataux et interruptions de la grossesse pour raisons médicales) est estimé à plus de 300 chaque année. Néanmoins, 4 enfants sur 5 nés infectés seront normaux et n'auront aucune séquelle.

### DIAGNOSTIC

#### CHEZ LA FEMME ENCEINTE

L'infection à CMV chez la femme enceinte n'a pas de spécificité : 90 % des formes sont asymptomatiques,

ce qui complique leur repérage. Le diagnostic est le plus souvent évoqué à l'occasion de la découverte d'anomalies à l'échographie chez le fœtus. Il est basé sur la sérologie avec recherche d'IgG + d'IgM anti-CMV. La détection d'IgM anti-CMV fait suspecter une primo-infection mais ne permet pas de la dater précisément, ni d'en affirmer le caractère primaire. Seules 10 à 30 % des femmes avec des IgM détectables sont atteintes d'une primo-infection récente [11].

On ne peut conclure à une infection récente qu'en cas de séroconversion des IgG anti-CMV (apparition d'IgG spécifiques du virus chez une femme enceinte antérieurement séronégative) ou, en l'absence de test de référence, en cas de constatation d'un indice d'avidité des IgG anti-CMV faible. Lorsqu'une infection est suspectée et que l'indice d'avidité est intermédiaire ou proche des seuils d'interprétation, l'interprétation des résultats en matière de datation est délicate : il est alors souhaitable qu'un contrôle soit réalisé par un laboratoire spécialisé pour éviter les erreurs diagnostiques. Quant au diagnostic de réactivation ou de réinfection, il ne peut être fait en dehors des études de recherche [1,8].

#### CHEZ L'ENFANT

##### En prénatal

Un diagnostic anténatal peut être réalisé en cas d'infection maternelle récente (diagnostiquée ou suspectée, surtout pendant la 1<sup>re</sup> moitié de grossesse) et/ou du fait de l'existence de signes échographiques compatibles avec une infection congénitale à CMV. Une infection congénitale peut être suspectée devant des anomalies échographiques : signes d'infection généralisée (retard de croissance intra-utérin, hépatosplénomégalie, ascite

foetale ou anasarque foeto-placentaire...) ou anomalies plus rares et plus tardives témoignant d'une atteinte neurologique (calcifications périventriculaires, ventriculomégalie, atteintes cérébelleuses...); ces anomalies neurologiques représentent le facteur pronostique majeur, avec un risque élevé de séquelles et qui doivent faire pratiquer une IRM. Une amniocentèse est réalisée au moins 6 à 8 semaines après la primo-infection maternelle (délai pour le développement de l'infection foetale) et après la 21<sup>e</sup> semaine de grossesse (terme après lequel la maturité du système urinaire foetal est acquise, permettant une excrétion du CMV dans le liquide amniotique), pour prélèvement de liquide amniotique à partir duquel la présence du virus est recherchée par PCR (sensibilité de 78 à 98 %) [1, 3, 8, 10, 11].

### En post-natal

L'excrétion de virus par le nouveau-né est recherchée sur les urines et la salive par PCR au cours des deux premières semaines de vie. Au-delà, l'infection peut avoir été acquise en post-natal. Tous les enfants confirmés à la naissance comme ayant contracté une infection congénitale à CMV doivent être suivis régulièrement, en particulier du point de vue de l'audition. En effet, la surdité liée au CMV survient dans un délai moyen de 33 mois chez les enfants symptomatiques et de 44 mois chez les enfants asymptomatiques [1].

### PRONOSTIC

Lorsque le diagnostic d'infection foetale est posé, l'enjeu devient de prédire le niveau de sévérité possible de l'infection pour l'enfant à naître. Ce pronostic est difficile à établir car ce n'est pas parce qu'il y a infection qu'il y a atteinte foetale. Il existe différents critères appor-

tant un faisceau d'informations mais aucun n'est reconnu comme permettant d'établir un pronostic fiable [1, 8] (encadré 2).

### PRISE EN CHARGE MÉDICALE ET THÉRAPEUTIQUE

#### PENDANT LA GROSSESSE

En cas de diagnostic d'une infection par le CMV pendant la grossesse, aucun des traitements visant à prévenir la transmission au fœtus qui ont été tentés n'est à ce jour validé. Le Valaciclovir est un antiviral bien toléré pendant la grossesse : une seule étude a montré que son utilisation chez des mères porteuses d'un fœtus infecté présentant des anomalies échographiques mineures permettrait d'obtenir une proportion plus importante de nouveau-nés strictement asymptomatiques mais des études randomisées avec groupe contrôle sont indispensables [16].

L'obtention d'une immunisation passive par l'injection intraveineuse d'immunoglobulines hyper-immunes anti-CMV<sup>5</sup> a fait l'objet de quelques études avec des résultats discordants [8, 11, 13].

La grossesse doit bénéficier d'un suivi spécialisé avec réalisation d'échographies mensuelles à la recherche d'anomalies évocatrices d'infection congénitale, éventuellement complétée d'une IRM cérébrale foetale. En cas de dépistage d'anomalies cérébrales graves ou d'atteinte disséminée, une interruption médicale de grossesse (IMG) peut être proposée ; devant des anomalies échographiques plus mineures, un pronostic sera établi à la suite d'un bilan poussé incluant des résultats de biologie foetale afin de conseiller les parents.

#### APRÈS LA NAISSANCE

Un traitement par Valganciclovir de nouveau-nés symptomatiques

#### Encadré 2

### > PRINCIPAUX CRITÈRES PRÉDICTIONNELS DE L'ATTEINTE FŒTALE ET/OU DE SA GRAVITÉ

- Âge gestationnel au moment de la transmission : risque maximal d'atteintes neurologiques avec séquelles si infection pré-conceptionnelle ou pendant le 1<sup>er</sup> trimestre de grossesse.
- Anomalies cérébrales à l'échographie confirmée par l'IRM au 3<sup>e</sup> trimestre : risque majeur de séquelles mais l'absence de malformation cérébrale visible ne donne pas de certitude de normalité du développement.
- Nourrisson symptomatique à la naissance.

#### Autres paramètres discutés

- Primo-infection maternelle : la très grande majorité des études récentes conclut à un risque et une gravité des séquelles identiques après primo-infection ou infection secondaire.
- Niveau de la charge virale dans le liquide amniotique : fiabilité discutée.
- Traitement de la femme enceinte visant à minimiser la transmission et la gravité de l'atteinte foetale (protocoles en cours) : actuellement aucun traitement n'est validé.

avec des anomalies neurologiques a montré son efficacité en améliorant ou stabilisant l'audition et le développement psychomoteur [17]. Cependant, en l'absence d'AMM pour le nouveau-né et compte-tenu de la pauvreté des données disponibles sur la tolérance à long terme du traitement dans cette population, les attitudes thérapeutiques sont hétérogènes en France [1]. Les traitements chez les nouveau-nés asymptomatiques ne sont pas recommandés et aucune étude n'a été publiée sur le sujet.

Tous les enfants confirmés infectés à la naissance doivent faire l'objet d'un suivi régulier, en particulier pour dépister une surdité, même si le bilan initial est normal.

### PRÉVENTION

#### MESURES D'HYGIÈNE

Il s'agit du seul moyen à l'heure actuelle pour éviter la transmission de l'infection à la femme enceinte et par conséquent prévenir l'infection congénitale à CMV. Le CMV se

5. Les immunoglobulines anti-CMV n'ont pas d'autorisation de mise sur le marché (AMM) en France mais font l'objet d'une ATU (autorisation temporaire d'utilisation) nominative.

**L'infection à cytomégalo virus :**  
où en est-on ?

↓ Tableau I

➤ MESURES DE PRÉVENTION PROPOSÉES PAR LE HAUT CONSEIL DE SANTÉ PUBLIQUE [1]

Où peut-on rencontrer le CMV ?	Ne pas faire	Faire
Salive	Embrasser un bébé ou un enfant sur la bouche. Gouter dans l'assiette du bébé. Partager l'assiette, la bouteille ou un aliment (gâteau...) Finir le plat du bébé. Sucer la tétine du bébé ou goûter au biberon.	Le prendre dans ses bras. L'embrasser sur le front ou sur les cheveux. Ou faire un câlin. Avoir des assiettes, des verres et des couverts individuels. Tester la température du repas avec le dos de la main. Gouter le plat avec une autre cuillère. Avoir une brosse à dent individuelle.
Larmes	Embrasser un bébé ou un enfant qui pleure sur les joues.	Le prendre dans ses bras. L'embrasser sur le front ou sur les cheveux. Ou lui faire un câlin.
Sécrétions nasopharyngées	Aspirer le nez d'un bébé enrhumé sans précautions. Embrasser un bébé très enrhumé sur les joues.	Aspirer les sécrétions du bébé avec précautions (et en cas d'utilisation d'un mouche-bébé, le nettoyer immédiatement en suivant la notice). Ou utiliser des mouchoirs en papier et les jeter immédiatement après usage. Se laver les mains 15 à 20 secondes tout de suite après avoir mouché un enfant ou un bébé, et si ce n'est pas possible, nettoyer les mains et utiliser du gel hydro-alcoolique. Le prendre dans ses bras. L'embrasser sur le front ou sur les cheveux. Ou lui faire un câlin.
Urines	Toucher un pyjama mouillé avec les mains. Prendre un bain avec le bébé (qui risque d'uriner).	Jeter les couches mouillées immédiatement. Se laver les mains 15 à 20 secondes après les changes ou après avoir touché un vêtement mouillé. Et si ce n'est pas possible, utiliser du gel hydro-alcoolique. Avoir ses propres affaires de toilette.
Sécrétions génitales	Toutes ces précautions concernent aussi le futur père.	Utiliser un préservatif si changement de partenaires ou si suspicion d'infection à CMV chez le conjoint.
La survie du virus sur les jouets, les vêtements mouillés ou les aliments secs (biscuits...) peut être de 6 h. Se laver les mains après avoir touché ou rangé les jouets. Lavez les jouets régulièrement et en particulier dès qu'un enfant est malade.		

transmet surtout lors de l'exposition aux liquides biologiques d'un enfant de moins de 3 ans infecté (urines, salive). L'information des femmes et l'application de règles d'hygiène simples, décrites dans le **tableau I**, sont préconisées dans toutes les recommandations officielles [1, 18 à 24]. Certaines études ont montré l'efficacité de cette information sur les risques liés à l'infection CMV chez des femmes séronégatives [9, 25, 26]. Néanmoins, elles ne sont pas évidentes à appliquer au quotidien par une mère vis-à-vis de son enfant. Il est donc indispensable, pour espérer avoir un impact positif de ces mesures, que les médecins soient eux-mêmes sensibilisés et qu'en conséquence ils informent les femmes enceintes ou ayant un projet de grossesse du risque lié à une infection CMV congénitale et des moyens de s'en protéger. C'est loin d'être le cas comme en témoignent plusieurs études [10, 27 à 29].

**VACCINATION**

Il n'y a actuellement aucun vaccin disponible, même si de nombreuses recherches sont menées.

**DÉPISTAGE**

Le dépistage sérologique systématique de l'infection à CMV chez la femme enceinte ou ayant un désir de grossesse continue à faire débat. Il aurait pour objectif de réduire l'incidence des complications graves de l'infection congénitale à CMV, en repérant les femmes séronégatives. En France, en 2004, l'Agence nationale d'accréditation en santé (ANAES), aujourd'hui Haute Autorité de santé (HAS), soulignait que ce dépistage n'était pas recommandé du fait notamment des incertitudes diagnostiques, de l'absence de thérapeutiques validées et des difficultés à établir un pronostic foetal avec le risque d'IMG induite [18].

- Pour les professionnelles de la petite enfance :
- utiliser des gants jetables pour les changes ;
  - et se laver les mains avant et après le change ;
  - utiliser le gel hydro-alcoolique.

En 2015, le Collège national des gynécologues et obstétriciens français (CNGOF) réaffirmait que les critères d'un bon dépistage tels que définis par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) n'étaient toujours pas réunis pour envisager de revoir cette position [19]. Néanmoins, devant les progrès des connaissances et l'avènement de techniques beaucoup plus performantes en termes de diagnostic (PCR, échographie, IRM cérébrale), certains plaident pour le dépistage systématique [3, 9, 30, 31]. D'autres prônent un dépistage ciblé sur les mères de jeunes enfants gardés en collectivité et celles travaillant au contact de ces derniers [12, 22]. En France, une femme enceinte sur quatre a au moins une sérologie CMV durant sa grossesse [32].

Le HCSP a donc réuni en 2018 un large groupe d'experts afin d'actualiser les recommandations de 2004 en pesant l'ensemble des arguments pour et contre le dépistage. Il en est ressorti que le dépistage, tant général que ciblé, reste non recommandé. Un des éléments pris en compte a notamment été que les résultats les plus récents des études de séroprévalence et de cohortes ont montré que, dans les zones où la séroprévalence est proche de 50%, comme en France, des infections congénitales avec séquelles peuvent également survenir chez des femmes séropositives lors d'une infection secondaire (réinfection ou réactivation) avec une fréquence et une gravité similaire à celle constatée suite à une primo-infection [1].

Seul est préconisé un dépistage orienté sur des signes cliniques chez la mère (symptômes grippeux, syndrome mononucléosique) ou sur la découverte d'anomalies échographiques compatibles : en cas d'infection CMV, la femme enceinte sera orientée vers un spécia-

liste d'infectiologie foetale au sein d'un centre pluridisciplinaire de diagnostic prénatal.

Cette position quant à l'absence de dépistage systématique en population générale est la même dans les autres pays industrialisés [12, 15, 20 à 24, 33].

## EN MILIEU DE TRAVAIL

### PROFESSIONNELS À RISQUE

Compte-tenu des modes de transmission du CMV, deux modes de contamination sont possibles en milieu professionnel.

■ **Par contacts étroits et répétés avec des liquides biologiques de personnes excréant du virus : il s'agit principalement des jeunes enfants et des patients immunodéprimés.**

Dans une étude française réalisée chez 256 enfants de 6 crèches (âge moyen de 20 mois), 52 % excrètent du CMV dans leur salive [34]. L'étude CrechMV montre une prévalence d'excrétion salivaire chez les enfants en crèche de 40 % dans un échantillon de 80 crèches représentatives du territoire national [1, 35]. Ces études dans les crèches françaises montrent que les enfants s'infectent dans les six mois suivant l'arrivée à la crèche et que les charges virales les plus élevées sont retrouvées chez les « petits », avant 18 mois.

Plusieurs études ont montré que la séroprévalence du CMV est supérieure chez les personnels de crèche et de garderies par rapport à une population de référence [36 à 40]. Dans l'étude française de Billette de Villemeur et al. portant sur 395 personnes exposées [40] (personnels de crèche et de halte-garderie), les facteurs associés à cette prévalence accrue sont, comme dans d'autres études, l'ancienneté de l'exposi-

tion, le travail en crèche plutôt qu'en halte-garderie, la réalisation de tâches de nettoyage et un antécédent de travail en maternité. En revanche, contrairement à d'autres études [36, 38], l'âge des enfants pris en charge n'influe pas, probablement du fait que les personnels tournent sur les différentes sections au cours de leur carrière. Cependant, la part du risque attribuable à l'exposition professionnelle n'est que de 30 % ; des facteurs tels que la présence d'enfants à la maison et aussi leur mode de garde influent tout autant. Le fait d'avoir un conjoint travaillant en crèche majore également le risque. Une étude menée aux États-Unis par Adler montre que le taux annuel de séroconversion CMV chez les femmes séro-négatives travaillant en crèche est de 11 % vs 2 % seulement chez les témoins [36]. Il faut néanmoins souligner que quelques études n'ont pas retrouvé ce risque professionnel accru [18, 41].

S'agissant des personnels travaillant en pédiatrie et dans les services prenant en charge des patients immunodéprimés, aucun sur-risque n'a pu être démontré [42, 43]. À noter qu'une étude française [42] confirme l'absence de sur-risque chez les infirmières de pédiatrie et de service d'immunodéprimés mais montre que les auxiliaires de puériculture travaillant à l'hôpital ont un risque accru : il faut cependant souligner que, dans cette étude, sont regroupées celles qui travaillent en crèche et celles qui sont en unités de soins. Cette différence entre les crèches et les services hospitaliers est probablement due à l'effet protecteur des précautions standard appliquées systématiquement dans les services de soins.

En résumé, le risque professionnel de contamination par le CMV est avéré parmi les personnels de crèche mais il semble du même



## L'infection à cytomégalo­virus : où en est-on ?

niveau que celui induit par le fait d'être en contact à domicile avec des enfants, où les règles d'hygiène sont moins bien pratiquées qu'en milieu professionnel [1, 40, 42, 44].

### ■ À l'occasion d'un accident exposant au sang (AES).

Il pourrait y avoir transmission du virus en cas d'AES lors de la manipulation d'un liquide biologique contaminé : aucun cas n'a été retrouvé dans la littérature, ni en milieu de soins, ni en laboratoire.

### CONDUITE À TENIR VIS-À-VIS DU RISQUE CMV EN MILIEU PROFESSIONNEL

Un consensus existe pour améliorer le niveau de connaissance des femmes en âge de procréer et travaillant au contact de jeunes enfants sur la gravité de l'infection néonatale à CMV et les moyens de s'en protéger. La prévention passe par le respect de règles d'hygiène de base (*tableau 1*) qui doivent être rappelées à l'embauche et lors du suivi individuel en santé au travail. La remise d'un document écrit d'information peut être utile.

En revanche, il n'y a pas d'indication au dépistage dans les postes exposés pour les raisons décrites plus haut [1]. Certes, la connaissance d'un statut séronégatif chez une femme enceinte peut l'inciter à mieux respecter les règles d'hygiène mais ces mesures ne sont pas spécifiques : elles sont indispensables aussi pour protéger contre d'autres virus notamment celui de la grippe. En outre, la personne séropositive peut se réinfecter et doit donc elle aussi respecter les règles d'hygiène.

Certaines équipes de santé au travail ont néanmoins mis en place un dépistage pour les personnels travaillant au contact de jeunes enfants (établissements de santé, crèches) [41]. Il est en général réalisé à l'embauche avec une information des femmes séronégatives

sur les risques et les moyens de s'en protéger. Cependant, ce type de dépistage peut induire une fausse sécurité laissant croire aux femmes séropositives qu'elles sont immunisées et donc protégées, comme par exemple pour la rubéole, alors que ce n'est pas le cas pour le CMV : elles doivent en être informées. Il serait en outre logique de refaire une sérologie en tout début de grossesse, au mieux juste avant, chez la femme séronégative. L'indication d'un suivi sérologique ultérieur ne fait l'objet d'aucune recommandation officielle : il est de toute façon indispensable, dans ce cas, d'orienter la femme vers son obstétricien afin d'évaluer l'opportunité d'un suivi et ses modalités.

Même en l'absence de dépistage en santé au travail, de nombreuses femmes sont dépistées en début de grossesse et la question de la conduite à tenir devant une femme enceinte séronégative travaillant au contact d'enfants de moins de 3 ans peut se poser. Il est indispensable de l'informer des risques et de l'importance du respect des règles d'hygiène pour éviter tant une primo-infection qu'une réinfection (*tableau 1*).

En ce qui concerne une éventuelle éviction temporaire des femmes enceintes travaillant au contact d'enfants, là encore les avis sont partagés. Ainsi, en Suisse et en Belgique, les femmes enceintes travaillant en crèche ou garderie ne doivent pas être en contact avec des enfants de moins de 3 ans [20, 21]. Ces restrictions ne s'appliquent qu'aux femmes séronégatives pour le CMV en Allemagne [44].

D'autres soulignent que le CMV est ubiquitaire, que les femmes séropositives peuvent se réinfecter avec les mêmes conséquences pour l'enfant et ne conseillent donc pas le retrait des femmes séronégatives : il faut considérer tout enfant de

moins de 3 ans comme excréteur et respecter scrupuleusement les règles d'hygiène [12, 45]. Une option choisie par certaines équipes de santé au travail en France est de privilégier les postes en contact plutôt avec les grands (moins de changes) pour les femmes enceintes.

### CONCLUSION

Le cytomégalo­virus est à l'origine des infections congénitales et périnatales les plus fréquentes, avec des conséquences parfois graves pour l'enfant. En milieu de travail, si un risque accru a été mis en évidence pour les femmes enceintes travaillant en crèche, il est discuté pour celles travaillant au contact de patients infectés dans les services de soins, probablement du fait de l'application, au quotidien, des précautions « standard ». Les seules recommandations en matière de prévention qui fassent consensus sont l'information sur le risque des femmes enceintes quel que soit leur statut vis-à-vis du CMV, travaillant au contact des enfants de moins de 3 ans, qui est souvent insuffisante, et le respect scrupuleux des règles d'hygiène. En ce qui concerne le dépistage des femmes séronégatives pour le CMV, il reste non recommandé tant en population générale qu'en milieu professionnel. En effet, le risque d'infection congénitale doit être pris en compte aussi bien chez les femmes séropositives que chez les femmes séronégatives en début de grossesse.

**Remerciements à A. Billette de Villemeur, présidente du groupe de travail « Prévention de l'infection à CMV de la femme enceinte et du nouveau né » du HCSP, pour sa relecture attentive.**

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | La prévention de l'infection à cytomégalovirus chez la femme enceinte et chez le nouveau-né. Avis et rapport du 18 mai 2018. Haut Conseil de la Santé publique (HCSP), 2018 ([www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=702](http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=702)).
- 2 | CANNON MJ, HYDE TB, SCHMID DS - Review of cytomegalovirus shedding in bodily fluids and relevance to congenital cytomegalovirus infection. *Rev Med Virol.* 2011 ; 21 (4) : 240-55.
- 3 | MAZERON MC, ALAIN S, LERUEZ-VILLE M, SCHNEPF N - Infections à cytomégalovirus. Encyclopédie médico-chirurgicale. Maladies infectieuses 8-052-C-10. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2015 : 16 p.
- 4 | Cytomegalovirus (CMV). In: EFICATT. INRS, 2017 ([www.inrs.fr/eficatt](http://www.inrs.fr/eficatt)).
- 5 | MANICKLAL S, EMERY V, LAZZAROTTO T, BOPANA SB ET AL. - The "silent" global burden of congenital cytomegalovirus. *Clin Microbiol Rev.* 2013 ; 26 (1) : 86-102.
- 6 | ZUHAIR M, SMIT GSA, WALLIS G, JABBAR F ET AL. - Estimation of the worldwide seroprevalence of cytomegalovirus: A systematic review and meta-analysis. *Rev Med Virol.* 2019 ; 29 (3) : e2034.
- 7 | ANTONA D, LEPOUTRE A, FONTENEAU L, BAUDON C ET AL. - Seroprevalence of cytomegalovirus infection in France in 2010. *Epidemiol Infect.* 2017 ; 145 (7) : 1471-78.
- 8 | Diagnostic par sérologie et/ou par recherche du génome viral de l'infection congénitale à cytomégalovirus. Argumentaire. Haute Autorité de santé (HAS), 2015 ([www.has-sante.fr/jcms/c\\_2572929/fr/diagnostic-par-serologie-et-ou-par-recherche-du-genome-viral-de-l-infection-congenitale-a-cytomegalovirus](http://www.has-sante.fr/jcms/c_2572929/fr/diagnostic-par-serologie-et-ou-par-recherche-du-genome-viral-de-l-infection-congenitale-a-cytomegalovirus)).
- 9 | ADLER S - Screening for cytomegalovirus during pregnancy. *Infect Dis Obstet Gynecol.* 2011 ; 2011 : 1-9.
- 10 | ALAIN S, ANDOUARD D, GARNIER F, HANTZ S - Dépistage de l'infection congénitale à CMV, de la conception, naturelle ou médicalement assistée, aux premières années de vie. *Réf Gynécol Obstét.* 2014 ; 16 : 1-10.
- 11 | American College of Obstetricians and Gynecologists. Practice bulletin n° 151: cytomegalovirus, parvovirus B19, varicella zoster, and toxoplasmosis in pregnancy. *Obstet Gynecol.* 2015 ; 125 (6) : 1510-25.
- 12 | COLL O, BENOIST G, VILLE Y, WEISMAN LE ET AL. - Guidelines on CMV congenital infection. *J Perinat Med.* 2009 ; 37 (5) : 433-45.
- 13 | VAULOUP-FELLOUS C, CORDIER AG - Les infections maternofoétales. *Lett Infectiologie.* 2014 ; 29 (2) : 63-71.
- 14 | BRITT W - Controversies in the natural history of congenital human cytomegalovirus infection: the paradox of infection and disease in offspring of women with immunity prior to pregnancy. *Med Microbiol Immunol.* 2015 ; 204 (3) : 263-71.
- 15 | RAWLINSON WD, BOPANA SB, FOWLER KB, KIMBERLIN DW ET AL. - Congenital cytomegalovirus infection in pregnancy and the neonate: consensus recommendations for prevention, diagnosis, and therapy. *Lancet Infect Dis.* 2017 ; 17 (6) : e177-e188.
- 16 | LERUEZ-VILLE M, GHOUT I, BUSSIÈRES L, STIRNEMANN J ET AL. - In utero treatment of congenital cytomegalovirus infection with valacyclovir in a multicenter, open-label, phase II study. *Am J Obstet Gynecol.* 2016 ; 215 (4) : 462.
- 17 | KIMBERLIN DW, JESTER PM, SÁNCHEZ PJ, AHMED A ET AL. - Valganciclovir for symptomatic congenital cytomegalovirus disease. *N Engl J Med.* 2015 ; 372 (10) : 933-43.
- 18 | Évaluation de l'intérêt du dépistage de l'infection à cytomégalovirus chez la femme enceinte en France. Haute Autorité de santé (HAS), 2004 ([www.has-sante.fr/portail/jcms/c\\_272378/evaluation-de-l-interet-du-depistage-de-l-infection-a-cytomegalovirus-chez-la-femme-enceinte-en-france](http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_272378/evaluation-de-l-interet-du-depistage-de-l-infection-a-cytomegalovirus-chez-la-femme-enceinte-en-france)).
- 19 | Cytomégalovirus et grossesse. Collège national des gynécologues et obstétriciens Français (CNGOF), 2015 ([www.cngof.fr/actualites/403-cytomegalovirus-et-grossesse](http://www.cngof.fr/actualites/403-cytomegalovirus-et-grossesse)).
- 20 | La problématique du cytomégalovirus chez la femme enceinte. Avis du Conseil supérieur de la santé N° 9262. Service public fédéral. Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, 2015 ([www.health.belgium.be/fr/avis-9262-cytomegalovirus](http://www.health.belgium.be/fr/avis-9262-cytomegalovirus)).
- 21 | SCHÄFFER L, OCHSENBEIN N, BOULVAIN M, BAUD D ET AL. - Cytomégalovirus (CMV) et grossesse. Avis d'experts n° 47 (Mise à jour en mars 2019). Société Suisse de Gynécologie et d'Obstétrique, 2019 ([www.sggg.ch/fileadmin/user\\_upload/47\\_F\\_Cytomegalievirus\\_und\\_Schwangerschaft\\_Update\\_Maerz\\_2019.pdf](http://www.sggg.ch/fileadmin/user_upload/47_F_Cytomegalievirus_und_Schwangerschaft_Update_Maerz_2019.pdf)).
- 22 | YINON Y, FARINE D, YUDIN MH - Infection à cytomégalovirus pendant la grossesse. *J Obstet Gynaecol Can.* 2010 ; 32 (4) : 355-62.
- 23 | Cytomegalovirus (CMV) and Congenital CMV Infection. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2019 ([www.cdc.gov/cmV/clinical/overview.html](http://www.cdc.gov/cmV/clinical/overview.html)).
- 24 | CMV screening policy review summary. UK National Screening Committee (UK NSC), 2012 (<https://legacyscreening.phe.org.uk/cytomegalovirus>).
- 25 | VAULOUP-FELLOUS C, PICONE O, CORDIER AG, PARENT-DU-CHÂTELET I ET AL. - Does hygiene counseling have an impact on the rate of CMV primary infection during pregnancy? Results of a 3-year prospective study in a French hospital. *J Clin Virol.* 2009 ; 46 (Suppl 4) : S49-53.
- 26 | REVELLO MG, TIBALDI C, MASUELLI G, FRISINA V ET AL. - Prevention of Primary Cytomegalovirus Infection in Pregnancy. *EBioMedicine.* 2015 ; 2 (9) : 1205-10.
- 27 | ROSS DS, RASMUSSEN SA, CANNON MJ, ANDERSON B ET AL. - Obstetrician/gynecologists' knowledge, attitudes, and practices regarding prevention of infections in pregnancy. *J Womens Health (Larchmt).* 2009 ; 18 (8) : 1187-93.
- 28 | CORDIER AG, GUITTON S, VAULOUP-FELLOUS S, GRANGEOT-KEROS L ET AL. - Awareness of cytomegalovirus infection among pregnant women in France. *J Clin Virol.* 2012 ; 53 (4) : 332-37.
- 29 | WILLAME A, BLANCHARD-ROHNER G, COMBESCURE C, IRION O ET AL. - Awareness of Cytomegalovirus Infection among Pregnant Women in Geneva, Switzerland: A Cross-



## L'infection à cytomégalo­virus : où en est-on ?

### BIBLIOGRAPHIE (suite)

- sectional Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 ; 12 (12) : 1 5285-97.
- 30 | PICONE O, DAHAN M, VAULOUP-PELOUS C - Vers un dépistage systématique du CMV en début de grossesse. *Réalités Gynécol Obstét*. 2015 ; 179 : 4-7.
- 31 | LERUEZ-VILLE M, MAGNY JF, COUDERC S, PICHON C ET AL. - Risk Factors for Congenital Cytomegalovirus Infection Following Primary and Nonprimary Maternal Infection: A Prospective Neonatal Screening Study Using Polymerase Chain Reaction in Saliva. *Clin Infect Dis*. 2017 ; 65 (3) : 398-404.
- 32 | RICHAUD-ÉYRAUD E, BROUARD C, ANTONA D, LA RUCHE G ET AL. - Dépistage des maladies infectieuses en cours de grossesse : résultats de l'enquête Elfe en maternités, France métropolitaine, 2011. *Bull Epidemiol Hebd*. 2015 ; 15-16 : 254-63.
- 33 | Avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France section des maladies transmissibles du 8 mars 2002 relatif aux recommandations pour la prévention de l'infection à cytomégalo­virus chez les femmes enceintes. Haut Conseil de la Santé publique (HCSP), 2002 ([www.hcsp.fr/docs/pdf/cshpf/a\\_mt\\_080302\\_CMV\\_grossesse.pdf](http://www.hcsp.fr/docs/pdf/cshpf/a_mt_080302_CMV_grossesse.pdf)).
- 34 | GROSJEAN J, TRAPES L, HANTZ S, MENGELLE C ET AL. - Human cytomegalovirus quantification in toddlers saliva from day care centers and emergency unit: a feasibility study. *J Clin Virol*. 2014 ; 61 (3) : 371-77.
- 35 | Cytomégalo­virus. Centre national de référence Herpèsvirus (CNR Herpèsvirus), 2015 ([www.unilim.fr/cnr-cytomegalovirus/presentation-du-cnr-cmv/le-cmv/](http://www.unilim.fr/cnr-cytomegalovirus/presentation-du-cnr-cmv/le-cmv/)).
- 36 | ADLER SP - Cytomegalovirus and child day care. Evidence for an increased infection rate among day-care workers. *N Engl J Med*. 1989 ; 321 (19) : 1 290-96.
- 37 | PASS RF, HUTTO C, LYON MD, CLOUD G - Increased rate of cytomegalovirus infection among day care center workers. *Pediatr Infect Dis J*. 1990 ; 9 (7) : 465-70.
- 38 | JOSEPH SA, BELIVEAU C, MUECKE CJ, RAHME E ET AL. - Risk factors for cytomegalovirus seropositivity in a population of day care educators in Montréal, Canada. *Occup Med (Lond)*. 2005 ; 55 (7) : 564-67.
- 39 | STELMA FF, SMISMANS A, GOOSSENS VJ, BRUGGEMAN CA ET AL. - Occupational risk of human Cytomegalovirus and Parvovirus B19 infection in female day care personnel in the Netherlands; a study based on seroprevalence. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2009 ; 28 (4) : 393-97.
- 40 | DE VILLEMEUR AB, GRATACAP-CAVALLIER B, CASEY R, BACCARD-LONGÈRE M ET AL. - Occupational risk for cytomegalovirus, but not for parvovirus B19 in child-care personnel in France. *J Infect*. 2011 ; 63 (6) : 457-67.
- 41 | DRUETTO LEPAGE N - Étude de séroprévalence du cytomégalo­virus dans une population exposée et non-exposée du CHRU de Lille. Thèse pour le doctorat en médecine. Lille : Université du droit et de la santé, Faculté de médecine Henri Warembourg ; 2004 : 203 p.
- 42 | LEPAGE N, LEROYER A, CHEROT-KORNOBIS N, LARTIGAU I ET AL. - Cytomegalovirus seroprevalence in exposed and unexposed populations of hospital employees. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2011 ; 30 (1) : 65-70.
- 43 | SOBASZEK A, FANTONI-QUINTON S, FRIMAT P, LEROYER A ET AL. - Prevalence of cytomegalovirus infection among health care workers in pediatric and immunosuppressed adult units. *J Occup Environ Med*. 2000 ; 42 (11) : 1 109-14.
- 44 | STRANZINGER J, KOZAK A, SCHILGEN B, PARIS D ET AL. - Are female daycare workers at greater risk of cytomegalovirus infection? A secondary data analysis of CMV seroprevalence between 2010 and 2013 in Hamburg, Germany. *GMS Hyg Infect Control*. 2016 ; 11 : Doc09.
- 45 | CHIN TL, MACGOWAN AP, JACOBSON SK, DONATI M - Viral infections in pregnancy: advice for healthcare workers. *J Hosp Infect*. 2014 ; 87 (1) : 11-24.

# Cybercinétose en milieu professionnel

EN  
RÉSUMÉ

L'exposition à la réalité virtuelle peut déclencher un ensemble de symptômes proches de ceux du mal des transports (nausées, vertiges, sueurs) et appelé mal de la réalité virtuelle ou cybercinétose. Il est possible d'évaluer la cybercinétose à travers de nombreux outils pour connaître son impact et sa sévérité. Les salariés sont exposés en tant qu'utilisateurs d'applications de réalité virtuelle, notamment dans des objectifs de formation et de prévention. Ils peuvent l'être également dans le cadre d'activités récréatives. Des pistes pour limiter la cybercinétose sont énoncées.

## AUTEUR :

L. Brun, laboratoire Ergonomie et psychologie appliquées à la prévention (EPAP), département Homme au travail, INRS

## MOTS CLÉS

Technologie avancée / Organisation du travail

Les technologies de réalité virtuelle (RV) sont aujourd'hui intégrées dans divers secteurs professionnels. Elles sont utilisées en complément des outils traditionnels, par exemple pour la formation, la prévention, le soin ou la conception des postes de travail. Elles ouvrent de nouvelles perspectives sur les modes de travail avec des caractéristiques d'immersion, d'interaction et d'appropriation physique d'un environnement déterminé. Elles constituent ainsi un lien dans l'expérience professionnelle entre les éléments théoriques conceptuels et les éléments pratiques de terrain. Cependant, de 20 à 80 % des utilisateurs de RV souffrent du mal de la réalité virtuelle, appelé aussi cybercinétose [1]. Les symptômes de la cybercinétose sont proches de ceux du mal des transports et leurs effets peuvent persister plusieurs heures voire plusieurs jours selon la durée d'exposition à l'environnement virtuel. L'usage de la RV est donc susceptible de perturber l'activité à court terme. Cet aspect nécessite d'être attentif à la façon dont elle est déployée auprès des utilisateurs en termes de temporalité et de contenu ; ce qui pourrait également impacter l'utilisation récréative de cette technologie.

1. La « Hype Cycle » de Gartner est une courbe qui détermine le cycle de vie des technologies et permet de situer l'évolution de chacune d'entre elles.

2. L'haptique désigne le sens du toucher et les phénomènes kinesthésiques, c'est-à-dire la perception du corps dans l'environnement.

## QU'EST-CE QUE LA RÉALITÉ VIRTUELLE ?

La RV apparaît comme une technologie mature d'après la courbe de Gartner<sup>1</sup> [2] pour les technologies émergentes. L'expression « réalité virtuelle » revêt un sens paradoxal en associant deux termes qui semblent opposés. Elle correspond à la construction d'un monde artificiel en trois dimensions et permet d'immerger l'utilisateur dans cet environnement de synthèse avec lequel il peut interagir. L'utilisateur est capable de modifier l'environnement virtuel (EV) mais est aussi impacté à travers des stimulus de retour haptiques<sup>2</sup>. Des dispositifs, tels que des *joysticks*, des gants, des pédales à retour d'effort et d'autres outils spécialisés permettent ces interactions.

Plusieurs technologies existent pour immerger totalement ou partiellement l'utilisateur dans un EV :

- les casques de réalité virtuelle, visiocasques ou casques HMD (*Head Mounted Display*) permettent de recréer l'effet tridimensionnel de l'environnement. L'utilisateur est complètement immergé dans le monde qui s'affiche devant ses yeux. Deux petits écrans (un pour chaque œil) lui fournissent une

vision en relief (ou stéréoscopique) du monde virtuel ;

- les lunettes polarisantes permettent de conserver l'avantage de la vision en relief tout en n'immergeant pas totalement l'utilisateur dans le monde virtuel. Équipé de ce type de lunettes, l'utilisateur peut visualiser des images en relief sur un écran classique ;

- les salles immersives sont constituées d'écrans projetés sur toutes les surfaces (murs, sol et plafond) avec des capteurs de position de la personne.

### LES AVANTAGES

La RV apporte plusieurs avantages en proposant une expérience immersive et ludique dans un environnement sécurisé en grandeur réelle. En matière de formation ou de prévention des risques professionnels par exemple, cela permet de pousser la simulation jusqu'à l'accident, sans mettre en danger la personne qui utilise l'outil. De plus, l'information en trois dimensions peut être présentée de façon flexible. Ainsi, la RV permet d'engager le corps dans la simulation, impliquant l'utilisateur physiquement, et, par exemple, de le former au geste.

### LES LIMITES

Cependant, malgré une démocratisation qui assure une plus grande accessibilité, la RV soulève, d'une part, le problème de la fracture numérique avec certaines populations, surtout en situation de précarité [3] et, d'autre part, elle ne couvre pas tous les aspects d'une problématique donnée (de formation, de prévention, d'éducation, de thérapie...). Elle doit donc être utilisée comme une méthode complémentaire dans une démarche globale. Enfin, elle peut déclencher la cybercinétose chez certains utilisateurs, ce qui en limite la durée d'utilisation.

## LA RÉALITÉ VIRTUELLE COMME OUTIL PROFESSIONNEL

Les technologies de RV sont déployées dans de nombreux domaines, en particulier le divertissement (jeux vidéo), mais aussi le domaine médical, la culture, le marketing, la formation, la conception et le développement. Au près des salariés, la RV est largement utilisée comme outil de formation et, dans une moindre mesure, comme outil de prévention.

### LA FORMATION

Les technologies de RV favorisent de nouveaux modes d'apprentissage, permettant de concrétiser l'invisible pour mieux s'approprier l'environnement de travail réel. Elles présentent de nombreux avantages pour la formation. Elles offrent notamment la possibilité de simuler l'activité sans danger réel, la reproductibilité de situations rares, difficiles ou chères à recréer, la flexibilité dans la présentation de l'information, ou encore le contrôle précis des paramètres de la simulation afin de reproduire des situations particulières [4]. Elles permettent aussi d'améliorer l'apprentissage en termes d'écoute active, d'attention, de gain de temps [5] et de motivation.

Historiquement, les simulateurs informatiques constituent les premières applications de technologies informatiques ayant donné naissance aux EV d'apprentissage. L'un des principaux avantages de ces systèmes est de pouvoir changer les contextes de pratique et de déclencher des événements, comme des perturbations externes, des dysfonctionnements ou des pannes. Ils permettent de reproduire de manière très réaliste des parties du réel. Les variables de

situation sont contrôlées par les instructeurs. Les simulations sont donc bien plus flexibles que les situations réelles [4]. Par exemple, les simulateurs de vol pleine-échelle, qui utilisent de vrais *cockpits* d'avion, placent l'apprenant dans une situation proche du vol réel. Le simulateur est alors supposé réagir comme le système réel qu'il figure, permettant un apprentissage utilisable en situation réelle.

Par rapport à d'autres médias informatiques, la RV permet d'engager le corps dans la simulation et constitue ainsi un support pour la formation au geste. Elle permet, en plus, de faciliter les apprentissages grâce à l'enrichissement de la réalité. Grâce à leurs fonctionnalités pédagogiques, les outils de RV servent ainsi à la validation des compétences.

La RV comme outil de formation est déployée dans de nombreux secteurs professionnels :

- l'éducation [5, 6], notamment les apprentissages en situation de handicap [7] ;
- la médecine, en particulier pour les procédures chirurgicales et autres procédures interventionnelles [8, 9] ;
- l'armée et les forces de l'ordre (par exemple la police aux États-Unis [10] ou en Allemagne [11]) ;
- l'industrie, par exemple pour former à la réalisation de la tâche de soudage [12], au travail avec des robots industriels [13], à la conduite de chariots élévateurs [14], pour former des opérateurs en centrale nucléaire [15] ou encore dans l'industrie minière [16, 17] ;
- la grande distribution (par exemple le groupe Walmart aux États-Unis [18]).

### LA PRÉVENTION

L'utilisation de la RV dans le dispositif de prévention est liée à la

conception des outils et des postes de travail ou constitue une déclinaison de son application en formation, ici appliquée aux risques professionnels.

Pour le versant conception, la RV permet de mieux appréhender les futures interactions homme-système-environnement en faisant intervenir physiquement l'opérateur dans le cycle de conception. La conception assistée par RV permet d'identifier certains risques relatifs à l'utilisation d'équipements de travail avant leur phase de prototypage physique. Par exemple, des simulations de montage et démontage de pièces dans des applications automobile et aéronautique, avec des systèmes à retours d'effort, facilitent l'identification des futures fonctions d'usage et la rétroaction en conception. Au travers de tels outils, le processus de conception devrait s'enrichir d'une composante humaine, en passant de la prise en compte du système technique au système de travail dans sa globalité [19]. De plus, en tant qu'instrument d'échange d'informations, les maquettes et environnements virtuels jouent un rôle important dans la communication et la coordination entre préventeurs et ingénieurs [20]. Concernant la formation, il s'agit de d'identifier les risques professionnels rencontrés par les salariés dans leur travail en les formalisant de façon virtuelle. Les personnes ne sont pas formées à l'apprentissage d'un métier de façon globale mais à la gestion des risques susceptibles d'être rencontrés dans leur cadre professionnel. La formation à la prévention des risques à travers la RV est présente dans plusieurs secteurs : par exemple, la prévention des risques chimiques [20], celle des risques sur chantier [21] ou celle des troubles musculosquelettiques [22].

## QU'EST-CE QUE LA CYBERCINÉTOSE ?

L'utilisation de la RV engendre chez certains utilisateurs des symptômes proches de ceux du mal des transports ou cinétose, à la fois pendant et après l'expérience de RV [23]. Ce type de maladie, appelée cybercinétose, cybermaladie (*cybersickness* en anglais) ou mal de la RV, est différent du mal des transports dans la mesure où l'utilisateur est souvent immobile mais a une sensation irrésistible de mouvement à travers une imagerie visuelle mouvante. De 20 à 80 % des utilisateurs de RV sont sujets au mal de la réalité virtuelle [1].

Les symptômes de la cybercinétose sont nombreux. Ils incluent fatigue visuelle ou troubles oculomoteurs, maux de tête, pâleur, sueurs, sécheresse de la bouche, sensation d'estomac plein, désorientation, vertige, ataxie (déséquilibre postural ou manque de coordination), nausées et vomissements [23, 24]. Les symptômes de la cybercinétose apparaissent d'une gravité plus élevée que ceux de la cinétose [25], approximativement trois fois plus d'après Stanney et al. [26].

Ces effets indésirables peuvent se manifester pendant plusieurs heures [23, 27] et, dans certains cas, pendant plusieurs jours [28, 29]. Plus la durée d'exposition à la RV est longue, plus les symptômes sont susceptibles de persister. De ce fait, plusieurs bases aériennes ont mis en place des politiques « au sol » obligatoires qui stipulent qu'un pilote ne peut pas piloter un avion pendant 12 à 24 heures après l'exposition à un simulateur de vol en EV. Pour les mêmes raisons, plusieurs centres d'entraînement en EV exigent que les utilisateurs ne conduisent pas avant au moins 30 à 45 minutes après l'exposition [23].

De nombreux facteurs peuvent déclencher la cybercinétose et il n'existe pas de méthode infaillible pour éliminer le problème.

## D'OÙ VIENT LA CYBERCINÉTOSE ?

Trois théories principales sont avancées pour expliquer les causes de la cybercinétose : la théorie du conflit sensoriel, celle du poison et celle de l'instabilité posturale.

### LA THÉORIE DU CONFLIT SENSORIEL

Cette théorie est la plus ancienne et reconnue des théories liées au mal des transports et à la cybercinétose [30 à 32]. Elle se base sur le postulat que les écarts entre les informations sensorielles relatives à l'orientation du corps et celles relatives au mouvement entraînent un conflit perceptuel que le corps ne sait pas comment gérer. Dans la cybercinétose et la cinétose, les systèmes sensoriels qui entrent en conflit sont le sens de l'équilibre (perçu au moyen du système vestibulaire situé dans l'oreille interne), le sens de la proprioception (perception de la position relative des membres dans l'espace) et la vision.

Bien que la théorie du conflit sensoriel constitue l'explication la plus largement acceptée de la cybercinétose, elle présente des limites, et, notamment, n'explique pas pourquoi certains individus sont malades et d'autres non dans des conditions similaires.

### LA THÉORIE DU POISON

La théorie du poison propose une explication sur les raisons de la survenue du mal des transports et du mal de la RV d'un point de vue évolutionniste [33]. L'ingestion de poison provoque des effets physio-

## Cybercinétose en milieu professionnel

logiques impliquant notamment la coordination des systèmes visuel et vestibulaire. Ces effets physiologiques agissent comme un signal d'alarme précoce qui augmente la survie de l'individu en déclenchant le vidage du contenu de son estomac pour en retirer les toxines. Dans certains EV, les systèmes visuel et vestibulaire sont perturbés d'une façon telle que le corps décode mal l'information et l'interprète comme une intoxication, ce qui est susceptible de déclencher une réponse adaptative se traduisant par un vomissement.

Comme la théorie du conflit sensoriel, celle du poison n'explique pas non plus les raisons pour lesquelles certaines personnes sont malades et d'autres non dans des EV aux stimulus identiques.

### LA THÉORIE DE L'INSTABILITÉ POSTURALE

Développée par Riccio et Stoffregen [34], cette théorie est centrée sur l'idée que l'un des buts comportementaux primaires chez l'homme est de maintenir une stabilité posturale dans l'environnement.

Elle suggère que les malaises dus à la cinétose et à la cybercinétose sont causés par une instabilité posturale prolongée. Cette théorie prédit l'apparition des instabilités posturales avant celle de la cinétose : « *ce n'est pas parce que nous sommes malades que nous sommes instables, c'est parce que nous sommes instables que nous sommes malades* » [35, 36]. La sévérité des symptômes augmente directement avec la durée de l'instabilité : plus celle-ci est longue, plus les symptômes seront sévères.

La théorie de l'instabilité posturale contredit celle du conflit sensoriel. Selon la théorie de l'instabilité posturale, les systèmes visuel et vestibulaire sont en accord s'ils reçoivent des informations redon-

dantes. Ainsi, si les deux systèmes sont en désaccord, c'est que l'information n'est pas redondante. Dans de nombreux cas, cette non redondance de l'information n'induit pas de cinétose (par exemple lorsque l'on prend un ascenseur, un tapis roulant ou un escalateur). Les résultats des études sur la théorie de l'instabilité posturale sont contradictoires, certains la soutenant [37 à 40], d'autres la contredisant [41].

### FACTEURS CONTRIBUANT À LA CYBERCINÉTOSE

De nombreux facteurs influencent la cybercinétose, sans être directement liés à l'une des trois théories évoquées précédemment.

■ **Les caractéristiques techniques** telles que la distorsion optique, l'erreur de position de suivi de la tête de l'utilisateur, le champ de vision, le scintillement, le taux de rafraîchissement, la résolution ou les oscillations visuelles. Par exemple, pour ce dernier paramètre, la combinaison de la vitesse et de l'amplitude des mouvements visuels influence la sévérité des symptômes de la cybercinétose [42].

■ **Les caractéristiques de l'EV** telles que le réalisme, le niveau de détails, le type de contenu d'action. Ainsi, un niveau de détail élevé dans les graphismes au fort réalisme visuel augmente la cybercinétose [43, 44]. Un contenu d'action fortement dynamique provoque plus de symptômes de cybercinétose qu'un contenu neutre et statique [45].

■ **Les caractéristiques individuelles** telles que l'expérience, le genre, la dépendance à l'égard du champ<sup>3</sup>, l'âge, l'état de santé, la capacité de rotation mentale<sup>4</sup>, la stabilité posturale et la sensibilité au mal des transports. Les femmes ressentent la cybercinétose plus fortement que les hommes [38] et y sont plus sujettes [46, 47]. En ce

qui concerne la modulation émotionnelle et cognitive, la tendance à exagérer la douleur d'un individu est corrélée positivement à son histoire de mal des transports et à son ressenti de cybercinétose [48].

■ **La durée d'exposition à l'EV.** De façon prévisible, il est généralement observé que la durée a un effet cumulatif sur les symptômes et reste actuellement l'une des meilleures manières d'en contrôler la sévérité ou l'impact.

■ **La fréquence d'exposition à l'EV.** Généralement, si les sessions d'exposition sont suffisamment proches dans le temps les unes des autres, un phénomène d'adaptation se produit et les symptômes s'atténuent.

■ **Les facteurs « cinématiques »** [49] font référence à toutes les variations dans le contenu de la scène et aux interactions sujet-système qui sont affectées par ce que le sujet fait pendant la simulation. La position du sujet dans l'EV (assis ou debout) peut aussi jouer un rôle dans la sensibilité individuelle à la cybercinétose. La position assise semble être préférable pour réduire les symptômes de cybercinétose dans la mesure où elle réduit les demandes de contrôle postural (voir la théorie de l'instabilité posturale présentée précédemment). Lorsqu'il y a plusieurs utilisateurs simultanément dans l'EV, ceux qui agissent sont moins susceptibles de souffrir de cybercinétose que les participants passifs [50].

*3. La dépendance à l'égard du champ est un style perceptif lié à la verticalité. Pour déterminer la verticale, les personnes « dépendantes à l'égard du champ » se basent sur des indices internes corporels alors que les personnes « dépendantes à l'égard du champ » se basent sur des indices externes environnementaux.*

*4. La rotation mentale est la capacité à se représenter dans l'espace des objets en 2 ou 3 dimensions et à les faire tourner mentalement en lien avec la représentation visuelle de telles rotations.*

### COMMENT ÉVALUER LA CYBERCINÉTOSE ?

Les symptômes du mal de la RV peuvent être évalués par des auto-évaluations subjectives et par des mesures objectives de variations de paramètres physiologiques.

Le questionnaire du mal du simulateur (*Simulator Sickness Questionnaire* - SSQ [51, 52]), dérivé du questionnaire du mal des transports (*Motion Sickness Questionnaire* - MSQ [53]), est le questionnaire d'auto-évaluation le plus fréquemment utilisé pour mesurer le mal du simulateur et la cybercinétose. À l'origine, il a été développé pour évaluer le degré des symptômes dans différents simulateurs de vol [54] et a été utilisé avec succès dans d'autres domaines, comme les simulateurs de conduite [55] et la réhabilitation dans des EV [56]. Il consiste en 16 symptômes notés sur une échelle en 4 points (aucun, léger, modéré et sévère). Les scores sur chaque échelle sont cumulés pour former un score total de maladie (SSQ-T) et trois sous-scores – Nausée (SSQ-N), Oculomoteur (SSQ-O) et Désorientation (SSQ-D) – en accord avec la formule donnée par Kennedy et al. [51]. Pour évaluer de façon plus pertinente les symptômes déclenchés par l'exposition à la RV, Kim et al. [25] ont élaboré un questionnaire de mesure de la cybercinétose : le *Virtual Reality Sickness Questionnaire* - VRSQ, basé sur le questionnaire SSQ. Il consiste en 9 items, inclus dans deux composants, à savoir Oculomoteur et Désorientation. La méthode de l'échelle subjective d'unités de détresse (*Subjective Unit of Distress Scale* - SUDS [57, 58]) est bien plus simple mais cependant aussi efficace que le SSQ pour mesurer à la fois l'inconfort physique et émotionnel. Alors que le SSQ est une méthode basée sur des questions multiples, la SUDS ne comporte qu'une seule question d'échelle linéaire, allant typiquement de 0 à 100, 0 indiquant l'absence d'une détresse et 100 une détresse maximale. Il est ainsi facile et rapide de l'implémenter [59]. Elle a été utilisée avec succès dans

différents champs de recherche, y compris la mesure de la détresse dans des applications de RV [45, 60]. L'échelle visuelle analogique (*Visual Analogue Scale* - VAS [61]) constitue une autre alternative basée sur un unique item pour évaluer les niveaux d'inconfort subjectif.

Le questionnaire de profil de nausée (*Nausea Profile questionnaire* - NP [62]) est aussi largement utilisé. Il consiste en 17 descripteurs évalués sur une échelle de 0 (pas du tout) à 9 (sévèrement).

La mesure de paramètres psychophysiologicals, tels que la fréquence cardiaque, la fréquence et l'amplitude respiratoires, la température cutanée et la réponse en conductance cutanée<sup>5</sup> (*Skin Conductance Response* - SCR), apportent un autre éclairage sur la cybercinétose [63]. Son effet apparaît particulièrement lorsqu'on mesure la SCR [45, 64, 65]. D'autres indices comme l'activité gastrique [66, 67] et la pâleur du visage [68] varient aussi lors de la cybercinétose.

Enfin, ces évaluations des symptômes du mal de la RV peuvent être complétées par celle de l'expérience perçue par l'utilisateur. En effet, c'est de la qualité de l'expérience de l'utilisateur final que dépendent le succès et l'adoption des technologies de réalité virtuelle. Somrak et al. [59] ont utilisé le questionnaire d'expérience utilisateur (*User Experience Questionnaire* - UEQ [69]) qui permet une évaluation rapide de l'expérience de l'utilisateur avec des produits interactifs et donne un aperçu des aspects plus complexes de l'expérience utilisateur. Le format du questionnaire fournit un support aux utilisateurs pour exprimer immédiatement leurs ressentis, impressions et attitudes qui surviennent lorsqu'ils utilisent un produit. Les échelles du questionnaire couvrent de façon

exhaustive l'expérience de l'utilisateur, c'est-à-dire qu'elles mesurent à la fois les aspects d'utilisabilité classiques (efficacité, efficacité, satisfaction, fiabilité) et les aspects d'expérience utilisateur (originalité et stimulation).

## COMMENT LIMITER LA CYBERCINÉTOSE ?

Plusieurs stratégies permettent de réduire les effets de la cybercinétose ([encadré 1 page suivante](#)). L'approche la plus communément utilisée est celle d'un programme d'adaptation à l'EV [71]. En augmentant progressivement le temps d'exposition à l'EV, les utilisateurs s'y adaptent et les symptômes de la cybercinétose s'estompent, voire disparaissent. Par exemple, en mesurant les effets de cybercinétose par le questionnaire SSQ présenté précédemment, Moraes et Paivia [72] observent que le premier contact avec le dispositif de RV est généralement l'expérience évaluée comme étant la pire pour les participants qui rapportent de sévères nausées, des vertiges, un inconfort général et des sueurs. L'intensité de ces symptômes décroît au cours des différentes sessions jusqu'à disparaître complètement. Malheureusement, ce phénomène d'adaptation ne fonctionne pas dans le sens inverse : il n'aide pas l'utilisateur à se réadapter au monde réel une fois qu'il en a fini avec l'EV.

Limiter la durée d'exposition à l'EV reste également un moyen simple pour limiter les effets de la cybercinétose. Par exemple, dans leur étude sur le traitement des phobies dentaires, Gujjar et al. [73] proposent à leurs participants des pauses de deux minutes toutes les dix minutes lors des sessions.

Le contrôle de la posture permet

*5. La conductance cutanée est un phénomène électrique se produisant à la surface de la peau. Elle est une composante de la réponse électrodermale avec la résistance et le potentiel électrique cutanés.*



## Cybercinétose en milieu professionnel

aussi de réduire les effets de la cybercinétose (voir la théorie de l'instabilité posturale présentée précédemment). Des astuces technologiques telles qu'un nez virtuel entre les deux hémisphères visuels ou un repère fixe offrant un ancrage, ainsi que des scénarios limitant les mouvements saccadés de la tête et des yeux et favorisant des situations de contrôle actif de la posture, limitent la cybercinétose [36]. La position assise semble être préférable à la station debout dans la mesure où elle diminue les demandes de contrôle postural.

### CONCLUSION

Les technologies de RV constituent des outils de travail intéressants en complément de ceux déjà existants et éprouvés. Leur caractère nouveau et les effets indésirables de cybercinétose associés ne permettent pas aujourd'hui d'avoir un recul suffisant sur leur utilisation. Les avantages présentés par la RV sont nombreux et représentent un réel apport, en particulier en terme d'apprentissage. La possibilité d'immerger l'utilisateur dans un environnement artificiel avec lequel il peut interagir, de manipuler, contrôler et mesurer sans risque pour l'utilisateur, de créer des situations dangereuses et répétables ou encore de simuler des interactions avec des agents virtuels sont autant d'éléments attractifs et facilitateurs. La RV n'est cependant pas la réponse à tout et il faut rester vigilant quant aux champs d'application et à la façon de l'intégrer dans des démarches plus globales. Les symptômes de cybercinétose, susceptibles de persister bien après l'exposition, peuvent affecter l'acti-

#### Encadré 1

##### > CONSEILS DE PRÉVENTION (d'après [70])

Dans son travail, Benmehidi [70] n'a pas trouvé de publications faisant référence aux mesures préventives spécifiques au milieu de travail et, néanmoins, d'après les caractéristiques de la maladie ainsi que la connaissance des activités, quelques conseils simples à l'usage des préventeurs sur les lieux du travail et avant l'utilisation de la réalité virtuelle (RV) peuvent être proposés.

Comme pour toute implémentation d'une nouvelle technologie, il s'agira de réinterroger l'organisation du travail, notamment, dans le cas présent, l'articulation des différentes activités effectuées avec les séquences de RV, et de définir des temps de pauses. Il s'agira également d'associer le personnel et ses représentants à l'introduction de cette nouvelle technologie dans les activités de l'entreprise, à leur formation et information.

L'information/formation des salariés portera sur :

- les types des symptômes qui peuvent survenir (nausée, troubles de l'équilibre, fatigue et flou visuel...);
- la durée éventuellement courte de la plupart des symptômes;
- les moyens possibles pour réduire les effets et leurs conséquences; par exemple, la réduction du temps d'immersion durant les premières expériences, puis une augmentation progressive (sans dépasser les 30 min), des pauses toutes les 10 à 20 min, pour mieux s'habituer et l'espacement de ces pratiques tous les 2 à 5 jours;
- le caractère possiblement anxiogène de l'expérience de la RV.

Certains symptômes, notamment les troubles de l'équilibre et les troubles visuels, peuvent durer plus d'une heure, donc il y a lieu d'éviter les déplacements, la conduite et l'utilisation de machines dangereuses, immédiatement après une immersion.

vité ultérieure des utilisateurs, par exemple leurs comportements de conduite automobile ou de réalisation de tâches dangereuses.

Afin de réduire le risque de cybercinétose, des mesures simples peuvent être prises : limiter et contrôler le temps d'exposition à la RV en prévoyant des durées d'exposition courtes (par exemple de 10 à 20 minutes consécutives maximum), proposer des pauses régulières lors des sessions, exposer progressivement les utilisateurs et évaluer le ressenti de cybercinétose après chaque session. Des outils d'évaluation de la cybercinétose plus ou moins approfondis sont disponibles, allant d'un seul

descripteur mesuré sur une échelle linéaire à des questionnaires à plusieurs dimensions. De plus, choisir un EV dont les graphismes sont peu détaillés et faiblement réalistes, et dont le contenu est assez statique, permet de diminuer les symptômes de cybercinétose. Enfin, placer les participants dans une position qui demande peu de contrôle postural (assis plutôt que debout par exemple) réduit également la survenue de la cybercinétose.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | GALLAGHER M, FERRÉ ER - Cybersickness: a Multisensory Integration Perspective. *Multisens Res.* 2018 ; 31 (7) : 645-74.
- 2 | Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017. Gartner, 2017 (<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>).
- 3 | ATLAS P, BENMEHIDI M, FUENTES S - Les pratiques innovantes en service de santé au travail interentreprises. 13e Journée nationale de l'AFISST. Paris, le 21 juin 2018. Suivi pour vous TD 260. *Réf Santé Trav.* 2018 ; 156 : 81-88.
- 4 | LOURDEAUX D - Réalité virtuelle et formation. *Techniques de l'ingénieur. TE 5 975v2.* Saint-Denis : Techniques de l'ingénieur ; 2018 : 22 p.
- 5 | INNOCENTI ED, GERONAZZO M, VESCOVI D, NORDAHL R ET AL. - Mobile virtual reality for musical genre learning in primary education. *Comput Educ.* 2019 ; 139 : 102-17.
- 6 | SOUTHGATE E, SMITH SP, CIVIDINO C, SAXBY S ET AL. - Embedding immersive virtual reality in classrooms: Ethical, organisational and educational lessons in bridging research and practice. *Int J Child Comput Interact.* 2019 ; 19 : 19-29.
- 7 | JEFFS TL - Virtual Reality and Special Needs. *Themes Sci Technol Educ.* 2009 ; 2 (1-2) : 253-68.
- 8 | HAMACHER A, KIM SJ, CHO ST, PARDESHI S ET AL. - Application of Virtual, Augmented, and Mixed Reality to Urology. *Int Neurourol J.* 2016 ; 20 (3) : 172-81.
- 9 | PANTELIDIS P, CHORTI A, PAPAGIOUVANNI I, PAPAROUIDAMIS G ET AL. - Virtual and Augmented Reality in Medical Education. In: Tsoulfas G (Ed) - *Medical and Surgical Education. Past, Present and Future.* London : IntechOpen ; 2018 : 77-97, 150 p.
- 10 | GARCIA ET, WARE SG, BAKER LJ - Measuring Presence and Performance in a Virtual Reality Police Use of Force Training Simulation Prototype. Proceedings off The Thirty-Second International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference (FLAIRS-32), 2019 (<https://aaai.org/Library/FLAIRS/flairs19contents.php>).
- 11 | BERTRAM J, MOSKALIUK J, CRESS U - Virtual training: Making reality work? *Comput Human Behav.* 2015 ; 43 : 284-92.
- 12 | DA DALTO L - CS WAVE : la réalité virtuelle pour la formation au soudage. *Techniques de l'ingénieur. Recherche et innovation IN27 v1.* Saint-Denis : Techniques de l'ingénieur ; 2004 : 14 p.
- 13 | NATHANAEL D, MOSIALOS S, VOSNIAKOS GC - Development and evaluation of a virtual training environment for on-line robot programming. *Int J Ind Ergon.* 2016 ; 53 : 274-83.
- 14 | Simchar, simulateur de conduite de chariot élévateur. Former à la prévention des risques de renversement. INRS, 2019 (<http://www.inrs.fr/services/innovation/equipement/simchar.html>).
- 15 | ZHANG J, ZHANG X - Application of Virtual Reality Techniques for Simulation in Nuclear Power Plant. In: Wong WE, Ma T (Eds.) - *Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management.* Springer : New York ; 2013 : 971-76, 1289 p.
- 16 | GRABOWSKI A, JANKOWSKI J - Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners. *Saf Sci.* 2015 ; 72 : 310-14.
- 17 | HUI Z - Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry. *Int J Min Sci Technol.* 2017 ; 27 (4) : 717-22.
- 18 | Transform training forever: How to provide engaging learning programs in Virtual Reality. STRIVR, 2019 (<https://www.strivr.com/resources/ebooks/engaging-learning-programs/>).
- 19 | MARC J, BELKACEM N, MARSOT J - Virtual reality: A design tool for enhanced consideration of usability "validation elements". *Saf Sci.* 2007 ; 45 (5) : 589-601.
- 20 | CICCOTELLI J, MARSOT J - Réalité virtuelle et prévention. *Appports et tendances. Point de repère PR 17. Hyg Sécur Trav. Cah Notes Doc.* 2005 ; 199 : 99-111.
- 21 | XIE H, TUDOREANU ME, SHI W - Development of a Virtual Reality Safety-Training System for Construction Workers. In: Proceedings of the 6th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2006), 3-4 August 2006, Orlando, Florida, USA. ITC Digital Library, 2006 (<http://eres.scix.net/pdfs/ff9b.content.00092.pdf>).
- 22 | SISTO, M, ZARE M, OUERHANI N, BOLINHAS C ET AL. - Virtual Reality Serious Game for Musculoskeletal Disorder prevention. In: De Paolis LT, Bourdot P (Eds) - *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. 5<sup>th</sup> International Conference,* Avr 2018, Otranto, Italy, June 24-27, 2018, Proceedings, Part II. Cham : Springer International Publishing AG ; 2018 : 43-59, 724 p.
- 23 | LAVIOLA JJ - A discussion of cybersickness in virtual environments. *SIGCHI Bull.* 2000 ; 32 (1) : 47-56.
- 24 | LAWSON BD - Motion Sickness Symptomatology and Origins. In: Hale KS, Stanney KM (Eds) - *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications.* Second Edition. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group ; 2015 : 531-600, 1 454 p.
- 25 | KIM HK, PARK J, CHOI Y, CHOE M - Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Appl Ergon.* 2018 ; 69 : 66-73.
- 26 | STANNEY KM, KENNEDY RS, DREXLER JM - Cybersickness is not simulator sickness. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet.* 1997 ; 41 (2) : 1138-42.
- 27 | REGAN C - An investigation into nausea and other side-effects of head-coupled immersive virtual reality. *Virtual Reality.* 1995 ; 1 (1) : 17-31.
- 28 | GOWER DW JR, FOWLKES J - Simulator Sickness in the UH-60 (Black Hawk) Flight Simulator. U.S. Army Aeromedical Research Laboratory (USAARL) report N°89-25. Defense Technical Information Center, 1989

## BIBLIOGRAPHIE (suite)

(<https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA214434>).

- 29 | REBENITSCH L, OWEN C - Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Real.* 2016 ; 20 (2) : 101-25.
- 30 | REASON JT, BRAND JJ - Motion Sickness. London: Academic Press ; 1975 : 310 p.
- 31 | REASON JT - Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *J R Soc Med.* 1978 ; 71 (11) : 819-29.
- 32 | OMAN CM - Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory. *Can J Physiol Pharmacol.* 1990 ; 68 (2) : 294-303.
- 33 | TREISMAN M - Motion sickness: an evolutionary hypothesis. *Science.* 1977 ; 197 (4302) : 493-95.
- 34 | RICCIO GE, STOFFREGEN TA - An Ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecol Psychol.* 1991 ; 3 (3) : 195-240.
- 35 | STOFFREGEN TA, SMART LJ JR - Postural instability precedes motion sickness. *Brain Res Bull.* 1998 ; 47 (5) : 437-48.
- 36 | BARDY B - La cybercinétose, ou le mal des casques de réalité virtuelle. *The Conversation*, 2017 (<https://theconversation.com/la-cybercinetose-ou-le-mal-des-casques-de-realite-virtuelle-74900>).
- 37 | MERHI O, FAUGLOIRE E, FLANAGAN M, STOFFREGEN TA - Motion sickness, console video games, and head-mounted displays. *Hum Factors.* 2007 ; 49 (5) : 920-34.
- 38 | MUNAFO J, DIEDRICK M, STOFFREGEN TA - The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Exp Brain Res.* 2017 ; 235 (3) : 889-901.
- 39 | ARCIONI B, PALMISANO S, APTHORP D, KIM J - Postural stability predicts the likelihood of cybersickness in active HMD-based virtual reality. *Displays.* 2019 ; 58 : 3-11.
- 40 | WALTER HJ, LI R, MUNAFO J, CURRY C ET AL. - Unstable coupling of body sway with imposed motion precedes visually induced motion sickness. *Hum Mov Sci.* 2019 ; 64 : 389-97.
- 41 | DENNISON MS, D'ZMURA M - Cybersickness without the wobble: Experimental results speak against postural instability theory. *Appl Ergon.* 2017 ; 58 : 215-23.
- 42 | CHEN DJ, BAO B, ZHAO Y, SO RH - Visually induced motion sickness when viewing visual oscillations of different frequencies along the fore-and-aft axis: keeping velocity versus amplitude constant. *Ergonomics.* 2016 ; 59 (4) : 582-90.
- 43 | DAVIS S, NESBITT K, NALIVAOKO E - Comparing the onset of cybersickness using the Oculus Rift and two virtual roller coasters. In: Proceedings of the 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment (IE 2015), Sydney, Australia, 27-30 January 2015. Conferences in Research and Practice in Information Technology (CRPIT), 2015 (<https://crpit.scem.westernsydney.edu.au/confpapers/CRPITV167Davis.pdf>).
- 44 | TIRO A - Effect of visual realism on cybersickness in Virtual Reality. Master's Thesis. Oulu : University of Oulu, Faculty of Information Technology and Electrical Engineering/IS ; 2018 : 49 p.
- 45 | GUNA J, GERSAK G, HUMAR I, SONG J ET AL. - Influence of video content type on users' virtual reality sickness perception and physiological response. *Future Gener Comput Syst.* 2019 ; 91 : 263-76.
- 46 | BIOCCA F - Will Simulation Sickness Slow Down the Diffusion of Virtual Environment Technology? *Presence.* 1992 ; 1 (3) : 334-43.
- 47 | KOSLUCHER F, HAALAND E, MALSCH A, WEBELER J ET AL. - Sex Differences in the Incidence of Motion Sickness Induced by Linear Visual Oscillation. *Aerosol Med Hum Perform.* 2015 ; 86 (9) : 787-93.
- 48 | MITTELSTAEDT JM, WACKER J, STELLING D - Emotional and Cognitive Modulation of Cybersickness: the Role of Pain Catastrophizing and Body Awareness. *Hum Factors.* 2019 ; 61 (2) : 322-36.
- 49 | HIXON WC, NIVEN JI, CORREIA MJ - Kinematics nomenclature for physiological accelerations. With Special Reference to Vestibular Applications. Monograph 14. Naval Aerospace Medical Institute, Naval Aerospace Medical Center. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1966 (<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19670008676.pdf>).
- 50 | LACKNER. J - Human orientation, adaptation, and movement control. In: Motion Sickness, Visual Displays, and Armored Vehicle Design. Aberdeen : U.S. Army Laboratory Command, Ballistic Research Laboratory ; 1990 : 28-50, 116 p.
- 51 | KENNEDY RS, LANE NE, BERBAUM KS, LILIENTHAL MG - Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *Int J Aviat Psychol.* 1993 ; 3 (3) : 203-20.
- 52 | BALK SA, BERTOLA A, INMAN V - Simulator sickness questionnaire: twenty years later. In: Proceedings of the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design : driving assessment 2013, The Sagamore on Lake George, Bolton Landing, New York, USA, June 17-20, 2013. University of Iowa, 2013 (<https://trid.trb.org/view.aspx?id=1261648>).
- 53 | FRANK LH, KENNEDY RS, KELLOGG RS, McCAULEY ME - Simulator sickness: a reaction to a transformed perceptual world. I. Scope of the Problem. EOTR 88-2. Orlando : Essex Corporation, Naval Training Systems Center ; 1983 : 13 p.
- 54 | JOHNSON DM - Introduction to and Review of Simulator Sickness Research. Research Report 1832. Fort Rucker : Rotary-Wing Aviation Research Unit, U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences ; 2005 : 59 p.
- 55 | MCGILL M, NG A, BREWSTER SA - I Am The Passenger: How Visual Motion Cues Can Influence Sickness For In-Car VR. In: Mark G, Fussell S (Eds) - CHI'17. Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York : Association for Computing Machinery ; 2017 : 5655-68, 7098 p.
- 56 | KIM A, DARAKJIAN N,

- FINLEY JM** - Walking in fully immersive virtual environments: an evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *J Neuroeng Rehabil.* 2017 ; 14 (1) : 16.
- 57 | WOLPE J, LAZARUS AA** - Behavior Therapy Techniques: a Guide to the Treatment of Neuroses. New York : Pergamon Press : New York ; 1966 : 198 p.
- 58 | MILOSEVIC I, McCABE RE (Eds)** - Phobias: The Psychology of Irrational Fear. Santa Barbara : ABC-CLIO, LLC ; 2015 : 444 p.
- 59 | SOMRAK A, HUMAR I, HOSSAIN MS, ALHAMID MF ET AL.** - Estimating VR Sickness and user experience using different HMD technologies: an evaluation study. *Future Gener Comput Syst.* 2019 ; 94 : 302-16.
- 60 | CZERNIAK E, CASPI A, LITVIN M, AMIAZ R ET AL.** - A Novel Treatment of Fear of Flying Using a Large Virtual Reality System. *Aerosp Med Hum Perform.* 2016 ; 87 (4) : 411-16.
- 61 | BOYLAN P, KIRWAN GH, ROONEY B** - Self-reported discomfort when using commercially targeted virtual reality equipment in discomfort distraction. *Virtual Real.* 2018 ; 22 (4) : 309-14.
- 62 | MUTH ER, STERN RM, THAYER JF, KOCH KL** - Assessment of the multiple dimensions of nausea: the Nausea Profile (NP). *J Psychosom Res.* 1996 ; 40 (5) : 511-20.
- 63 | CHESSA M, MAIELLO G, BORSARI A, BEX P** - The Perceptual Quality of the Oculus Rift for Immersive Virtual Reality. *Hum Comput Interact.* 2016 ; 34 (1) : 51-82.
- 64 | EGAN D, BRENNAN S, BARRETT J, QIAO Y ET AL.** - An evaluation of Heart Rate and ElectroDermal Activity as an objective QoE evaluation method for immersive virtual reality environments. In: Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). 6-8 June 2016. Lisbon, Portugal. IEEE 2016 (<https://ieeexplore.ieee.org/document/7498964>).
- 65 | KIM YY, KIM HJ, KIM EN, KO HD ET AL.** - Characteristic changes in the physiological components of cybersickness. *Psychophysiology.* 2005 ; 42 (5) : 616-25.
- 66 | CHEUNG B, VAITKUS P** - Perspectives of electrogastrography and motion sickness. *Brain Res Bull.* 1998 ; 47 (5) : 421-31.
- 67 | DENNISON MS, WISTI AZ, D'ZMURA M** - Use of physiological signals to predict cybersickness. *Displays.* 2016 ; 44 : 42-52.
- 68 | HOLMES SR, KING S, STOTT JRR, CLEMES S** - Facial skin pallor increases during motion sickness. *J Psychophysiol.* 2002 ; 16 (3) : 150-57.
- 69 | LAUGWITZ B, HELD T, SCHREPP M** - Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In Holzinger A (Ed) – HCI and Usability for Education and Work. 4<sup>th</sup> Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2008, Graz, Austria, November 20-21, 2008. Proceedings. Heidelberg : Springer-Verlag ; 2008 : 63-76, 503 p.
- 70 | BENMEHIDI M** - La réalité virtuelle en milieu professionnel : Usages, Risques et Moyens de Prévention. Revue de la littérature. Mémoire pour le diplôme d'études spécialisées en médecine du travail. Créteil : Université Paris XII. Faculté de médecine de Créteil (UPEC) ; 2019 : 46 p
- 71 | McCAULEY ME, SHARKEY TJ** - Cybersickness: Perception of Self-Motion in Virtual Environments. *Presence.* 1992 ; 1 (3) : 311-18.
- 72 | MORAES T, PAIVIA WS** - Proceedings #17: Immersive Virtual Reality Cognitive Training for Patients with Moderate to Severe Traumatic Brain Injury. *Brain Stimul.* 2019 ; 12 (2) : PE79-E80.
- 73 | GUIJAR KR, VAN WIJK A, KUMAR R, DE JONGH A** - Efficacy of virtual reality exposure therapy for the treatment of dental phobia in adults: A randomized controlled trial. *J Anxiety Disord.* 2019 ; 62 : 100-08.

---

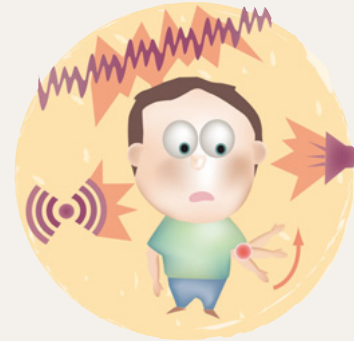
# OUTILS REPÈRES

P. 117 VOS QUESTIONS/NOS RÉPONSES

P. 123 RISQUES PSYCHOSOCIAUX

# Vos questions / nos réponses

## Exposition aux rayonnements ionisants : quelles informations dosimétriques peuvent être transmises ?



**La réponse du Dr Anne Bourdieu**, département Études et assistance médicales, **et de Jennifer Shettle**, service juridique, de l'INRS.

**Médecin du travail, je suis en charge du suivi des personnels d'un service de médecine nucléaire. Dans le domaine de l'exposition aux rayonnements ionisants (RI), à quelles informations dosimétriques les acteurs impliqués dans la radioprotection peuvent-ils avoir accès et que peuvent-ils échanger ?**

Le travailleur peut également solliciter le conseiller en radioprotection (CRP) pour ce qui concerne les résultats auxquels ce dernier a accès. À compter du 1<sup>er</sup> juillet 2020, il pourra également demander à l'organisme accrédité<sup>1</sup> de communiquer à lui-même ainsi qu'au médecin qu'il aura désigné le cas échéant, les résultats individuels de la dosimétrie le concernant, sur les vingt-quatre mois précédents. À compter de cette même date et jusqu'au 1<sup>er</sup> juillet 2023, il pourra obtenir auprès de cet organisme, et selon les mêmes modalités, ses résultats individuels de dosimétrie du cristallin sur les cinq années précédentes<sup>2</sup>. À partir du 1<sup>er</sup> juillet 2023, les résultats seront comparés à la VLEP annuelle.

1. Les organismes accrédités regroupent les organismes de dosimétrie, les services de santé au travail ou les laboratoires de biologie médicale mentionnés à l'article R. 4451-65 du CT.

2. Du 1<sup>er</sup> juillet 2018 au 30 juin 2023, la valeur limite cumulée pour le cristallin est fixée à 100 millisieverts (mSv), pour autant que la dose reçue au cours d'une année ne dépasse pas 50 mSv. À compter du 1<sup>er</sup> juillet 2023, la valeur limite d'exposition pour le cristallin est fixée à 20 mSv sur 12 mois consécutifs.

Les modalités de communication des résultats issus de la surveillance dosimétrique individuelle et des doses efficaces sont encadrées par les articles L. 4451-2 et suivants et R. 4451-1 à R. 4451-144 du Code du travail (CT) ainsi que par un arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, en vigueur à compter du 1<sup>er</sup> juillet 2020. L'instruction DGT/ASN/2018/229 du 2 octobre 2018 a explicité certains points du CT.

La surveillance dosimétrique individuelle comprend des données d'exposition externe dites doses équivalentes (peau, extrémités, cristallin) et d'exposition interne qualifiées de doses engagées. La dose efficace agrège l'ensemble des doses reçues. Les examens de dosimétrie interne (anthroporadiométrie et radiotoxicologie) sont réalisés sur prescription médicale, leurs résultats peuvent être considérés comme des données relevant du secret médical.

Pour mémoire, la dosimétrie opérationnelle ne constitue pas une surveillance dosimétrique individuelle du travailleur. Il s'agit d'un outil de pilotage permettant une optimisation des mesures de radioprotection.

### Résultats accessibles au travailleur (art. R. 4451-67 et R. 4451-68 du CT)

Le travailleur a accès à tous les résultats issus de la surveillance dosimétrique individuelle dont il fait l'objet (interne, externe), ainsi qu'à la dose efficace le concernant. Il peut, à cet égard, en demander communication au médecin du travail ou à SISERI (Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants). Géré par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), SISERI est en effet l'outil de centralisation des données dosimétriques communiquées par les organismes de dosimétrie, les laboratoires de biologie médicale et les services de santé au travail accrédités.

L'IRSN répond par ailleurs aux demandes de reconstitution d'historique dosimétrique (dose carrière cumulée) émanant des travailleurs ou des médecins du travail. Les résultats fournis sont établis en se fondant sur les informations enregistrées dans SISERI depuis sa mise en service en 2005 et sur les informations dosimétriques antérieures collectées à partir des divers supports d'archivage en vigueur aux différentes époques concernées.

« Le médecin désigné (...) par le travailleur et, en cas de décès ou d'incapacité, par ses ayants droit », a accès « sous leur forme nominative aux résultats de la surveillance dosimétrique ainsi qu'à la dose efficace ».

### Résultats accessibles au médecin du travail

Pour mémoire, l'employeur doit réaliser les évaluations individuelles de l'exposition aux RI préalablement à l'affectation des travailleurs. Le médecin du travail donne un avis sur la proposition de classement faite par l'employeur suite à cette évaluation, classement qui détermine pour partie les modalités de la surveillance dosimétrique individuelle.

Le médecin du travail a accès, via SISERI, à l'ensemble des résultats dosimétriques et à la dose efficace, sous leur forme nominative, de chaque travailleur dont il assure le suivi.

Il communique à SISERI les doses internes dès lors que celles-ci sont significatives du point de vue de la radioprotection (art. 11, IV de l'arrêté du 26 juin 2019). Il dispose également d'un accès, pour rectification, à tous les résultats de la dosimétrie individuelle des

3. Constitue un événement significatif pour la radioprotection tout événement susceptible d'entraîner le dépassement d'une valeur limite fixée aux articles R. 4451-6 à R. 4451-8 du CT.

travailleurs dont il assure le suivi (art. 21, b de l'arrêté du 26 juin 2019). Une telle démarche doit être tracée dans le dossier médical en santé au travail.

Par ailleurs, quand il est informé d'un dépassement des valeurs limites d'exposition professionnelle ou s'il constate un événement significatif pour la radioprotection<sup>3</sup>, le médecin du travail procède à une analyse de la situation afin de confirmer, ou non, la dose effectivement reçue avec le concours de l'employeur et du CRP. « *Il informe SISERI et l'organisme de dosimétrie de l'enclenchement de cette analyse et de ses conclusions sur la dose effectivement reçue* » (art. 14 de l'arrêté du 26 juin 2019). Si le médecin du travail constate la contamination d'un travailleur ou estime qu'une exposition peut constituer un événement significatif pour la radioprotection, il en informe l'employeur et le CRP, en excluant toute notion quantitative de dose (art. R. 4451-75 du CT).

Sous sa responsabilité, il peut communiquer au CRP des informations couvertes par le secret médical relatives à la dose interne, lorsque celle-ci est liée à l'exposition professionnelle (par opposition à un examen de médecine nucléaire pratiqué à visée diagnostique chez un travailleur par exemple) et que ces données sont strictement utiles à la prévention.

Le médecin du travail d'un établissement où interviennent des travailleurs temporaires ou d'une entreprise extérieure a accès à l'ensemble des résultats dosimétriques et des doses efficaces de ces salariés, sous leur forme nominative.

Lorsque la surveillance de l'exposition interne de salariés d'une entreprise extérieure est réalisée par le médecin du travail de l'entreprise utilisatrice pour le compte de l'entreprise extérieure, les chefs d'entreprise et les médecins du travail en formalisent les modalités dans l'accord prévu par l'art. R. 4513-12 du CT. Le médecin du travail de l'entreprise utilisatrice communique les résultats au médecin du travail de l'entreprise extérieure afin que celui-ci se prononce sur l'aptitude du salarié.

### Résultats accessibles au conseiller en radioprotection

Le CRP peut être une personne physique (personne compétente en radioprotection (PCR), salariée de l'employeur) ou morale, extérieure à l'établissement (organisme compétent en radioprotection). Il a accès, sous une forme nominative et sur une période n'excédant pas celle durant laquelle le travailleur est contractuellement lié à l'employeur, à la dose efficace ainsi qu'aux résultats de la surveillance dosimétrique individuelle liée à l'exposition externe.

Tel que le prévoit l'art. L. 4451-3 du CT, le CRP « *est tenu au secret professionnel (...) au titre des données couvertes par le secret qui lui ont été communiquées par le médecin du travail* ».

L'employeur ou, selon le cas, le responsable de l'organisme compétent en radioprotection doit assurer la confidentialité vis-à-vis des tiers, des données nominatives auxquelles les CRP ont accès et doit mettre à la disposition de ces derniers les moyens nécessaires pour qu'ils puissent respecter les exigences liées au secret professionnel.

Lorsque l'un des résultats de la surveillance dosimétrique individuelle dépasse l'une des valeurs limites d'exposition professionnelle, l'organisme de dosimétrie accrédité informe sans délai le CRP de la dose reçue par le travailleur de manière nominative.

### Résultats accessibles à l'employeur et au Comité social et économique

Sur le fondement des résultats qu'il détient, le CRP doit informer l'employeur lorsqu'il constate que l'une des doses estimées dans le cadre de l'évaluation individuelle préalable de l'exposition aux RI est susceptible d'être atteinte ou dépassée.

L'employeur a en outre la possibilité de demander au CRP que celui-ci lui communique les données dosimétriques nominatives des travailleurs lorsque celles-ci sont susceptibles d'atteindre ou de dépasser l'une des doses estimées dans le cadre de l'évaluation individuelle préalable de l'exposition aux RI.

Lorsque l'un des résultats de la surveillance dosimétrique individuelle dépasse l'une des valeurs limites d'exposition professionnelle, l'organisme de dosimétrie informe sans délai l'employeur de la dose reçue par le travailleur de manière nominative.

Par ailleurs, « *au moins une fois par an, l'employeur présente au Comité social et économique (CSE), un bilan statistique de la surveillance de l'exposition des travailleurs et de son évolution, sous une forme excluant toute identification nominative des travailleurs* » (art. R. 4451-72 du CT). Afin d'établir ce bilan, l'employeur a accès aux résultats de la surveillance de l'exposition des travailleurs sous une forme excluant toute identification nominative. Le CSE est également informé des dépassements de valeurs limites d'exposition professionnelle.

### Résultats accessibles aux inspecteurs de la radioprotection, aux agents de contrôle de l'inspection du travail et aux agents des services prévention des CARSAT (art. R. 4451-71 et R. 4451-135 du CT)

Les agents de contrôle de l'inspection du travail, les inspecteurs de la radioprotection ainsi que les agents des services prévention des caisses de retraite et de santé au travail (CARSAT) ont accès, sous leur forme nominative, aux doses efficaces reçues par les travailleurs ainsi qu'aux résultats de la dosimétrie externe, soit auprès du CRP, soit auprès de SISERI.

# Vos questions / nos réponses

## Vibrations transmises par les machines portatives : faut-il privilégier les machines thermiques ou électriques ?

La réponse de Pierre Donati, département Ingénierie des équipements de travail de l'INRS.

**Des tronçonneuses et autres outillages sur batteries commencent à apparaître sur le marché et en utilisation dans les entreprises du paysage. Existe-t-il des études sur les vibrations provoquées par ce type d'équipements ? Quelles différences y aurait-il par rapport à des machines thermiques ?**

Chaque année se vendent en France, à des fins professionnelles, plusieurs dizaines de milliers de tronçonneuses, taille-haies, débroussailleuses, coupe-fils. Les modèles les plus répandus sont les machines thermiques. Des modèles analogues avec batterie commencent néanmoins à être achetés par les professionnels.

Quel que soit leur mode de production d'énergie, ces machines vibrent et exposent les mains de leurs utilisateurs à des niveaux vibratoires suffisants pour que, en fin de journée, la valeur déclenchant l'action de prévention fixée réglementairement à 2,5 m/s<sup>2</sup> soit dépassée.

À long terme, les risques liés à cette exposition vibratoire d'amplitudes et de fréquences élevées sont bien connus. Pour l'essentiel, les affections potentielles sont de nature vasculaire (syndrome de Raynaud) ou neurologique (moindre sensation du toucher, de la perception du chaud et du froid, diminution de la préhension, perte de dextérité manuelle) et reconnues en maladies professionnelles au titre du tableau n° 69 du régime général et n° 29 du régime agricole.

L'amplitude des vibrations sur les zones de préhension dépend principalement de la vitesse de rotation de la machine, du type d'outil de coupe employé et de son entretien... Les principales sources de vibration sont la rotation de la transmission moteur-outil et celle de l'outil de coupe. À ce jour, le nombre de mesures de vibrations en situation réelle faites par l'INRS est insuffisant pour vérifier si les machines avec batterie sont plus ou moins vibrantes que les machines à moteur thermique équivalentes. Mais l'expérience acquise avec d'autres familles de machines et les valeurs déclarées par les fabricants montrent, en règle générale, que le mode d'énergie n'affecte pas significativement les valeurs de vibrations. Ce résultat peut surprendre car, en raison de leur conception, les moteurs à deux temps (va-et-vient



des pistons et des bielles) vibrent plus que les moteurs électriques où seul l'arbre d'entraînement de l'outil est en mouvement.

En conséquence, le choix d'un mode d'énergie plutôt que d'un autre, pour des machines équivalentes, ne peut pas se faire sur le critère d'une exposition aux vibrations plus faible mais sur d'autres considérations : bruit, gaz d'échappement, poids, ergonomie...

Pour réduire les vibrations émises par ces machines, les fabricants intègrent dès leur conception des systèmes antivibratiles (ressorts métalliques ou *silent blocks* suspendant l'ensemble moteur-transmission-outil de coupe, augmentation du moment d'inertie...).

Ces dispositifs anti vibratiles réduisent les vibrations mais cela ne suffit pas toujours à limiter l'exposition des salariés en dessous de la valeur d'action. Aussi, pour une prévention efficace, il est nécessaire de limiter la durée d'exposition quotidienne en tenant compte des autres machines vibrantes employées par l'opérateur. Ainsi le choix d'une machine, de sa puissance et des outils se fait en fonction de la tâche, tout particulièrement des dimensions des végétaux à couper ou à élaguer. Il faut s'assurer du bon état de l'outil coupant conformément aux instructions du constructeur. L'entretien permet à la machine de conserver toute sa performance et donc de réduire la durée nécessaire à la réalisation d'une tâche donnée. Quelle que soit la vitesse de rotation, c'est l'efficacité du tranchant qui permet à l'outil d'avoir un bon rendement.

Enfin, il faut rappeler que les opérateurs doivent se protéger contre le froid qui favorise le déclenchement de crises du syndrome de Raynaud. C'est pourquoi le port de gants et de vêtements appropriés est particulièrement recommandé même si les gants déclarés anti-vibratiles, en référence à la norme EN 10819, s'avèrent peu efficaces pour réduire les vibrations basses-fréquences (< 150 Hz, rotation < 9000 tours/minute) transmises aux travailleurs qui les portent. Mais ils ont l'avantage de tenir la main au chaud.

### POUR EN SAVOIR +

○ vibrations transmises aux membres supérieurs ([www.inrs.fr/risques/vibration-membres-superieurs/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/risques/vibration-membres-superieurs/ce-qu-il-faut-retenir.html))



# Vos questions/nos réponses

## Travailleurs prestataires ou sous-traitance : obligations des différents employeurs, notamment en matière de risques psychosociaux



La réponse de Jennifer Shettle, service juridique de l'INRS.

**Quelles sont les obligations en matière d'évaluation et de prévention des risques pour des travailleurs prestataires ou des sous-traitants de prestataires qui sont sur le site d'une entreprise ? Plus particulièrement, pour les situations les exposant à des risques psychosociaux (RPS), quelles sont les obligations des différents employeurs ? Est-il possible d'interdire aux sous-traitants de parler aux salariés de l'entreprise d'accueil ?**

Lorsque des salariés d'une entreprise extérieure (EE) sont amenés à intervenir au sein d'une entreprise utilisatrice (EU), dite « entreprise d'accueil », **il incombe à chaque employeur :**

- d'évaluer les risques liés à ses propres salariés et aux métiers qui leurs sont propres (dont les RPS), afin de retranscrire les résultats **dans le document unique** ;
- d'évaluer, en concertation cette fois, les risques « communs », pouvant résulter de l'interférence des activités, des installations et des matériels, afin de définir les mesures de prévention adaptées qui seront, pour leur part, prévues **par le plan de prévention**. Une attention particulière devra être portée sur l'organisation des activités en cas d'interventions de prestataires extérieurs et, en particulier, sur l'évaluation des risques liés à l'organisation du travail en commun, avec des salariés d'entreprises différentes. À titre d'exemples, certaines organisations ou modalités de travail peuvent générer des RPS chez les salariés extérieurs si, par exemple, le chef de l'EU surveille les salariés extérieurs ou si ces derniers sont obligés de travailler rapidement pour laisser la place aux salariés de l'EU.

Des situations de violences internes peuvent notamment apparaître entre les salariés des EU et des entreprises prestataires, pour les mêmes raisons que dans une entreprise unique, à savoir :

- un manque d'information, de formation ou d'expérience pour une tâche pour un des salariés concernés ;

- un flou sur le rôle de chacun, la répartition des tâches ou des moyens matériels ou financiers ;
- un flou sur la façon dont le travail doit être fait ;
- des objectifs, des enjeux différents ou contradictoires déterminés par l'organisation du travail entre des salariés qui doivent coopérer ;
- une dépendance vis-à-vis d'un autre salarié qui fait que l'un ne peut pas travailler si l'autre n'a pas réalisé une partie de son propre travail.

Ces causes fréquentes de désaccords professionnels peuvent évoluer vers des faits de violence s'ils ne sont pas ou s'ils sont mal arbitrés.

Ainsi, dans le cadre de la démarche de prévention et d'une manière plus générale :

■ **L'employeur du salarié de l'entreprise extérieure** doit :

- d'une part, évaluer les risques potentiels auxquels le salarié est exposé du fait de son métier (risques chimiques, de chute, stress, violence...) et prévoir des mesures de prévention adaptées ;
- d'autre part, s'assurer que le plan de prévention (élaboré en concertation avec l'employeur de l'EU) prévoit des mesures de prévention adaptées pour protéger ses propres salariés des risques liés à l'interférence des activités.

Ainsi, l'employeur du salarié prestataire doit prendre en compte et évaluer les différents risques, d'une part dans le cadre de l'évaluation des risques propre à son entreprise, mais également dans celui du plan de prévention envisagé pour une prestation spécifique ; certains risques, et notamment des RPS, pouvant résulter de l'organisation du travail et de l'interférence des activités.

■ **L'employeur de l'entreprise d'accueil**, étant lui-même sur le site en général, doit pour sa part s'assurer que les mesures de prévention envisagées lors de l'élaboration du plan de prévention sont bien respectées. Même s'il ne s'agit pas de son propre

salarié, il doit s'assurer que celui-ci travaille dans de bonnes conditions et que la protection de sa santé physique et mentale est garantie.

**Concernant le partage des responsabilités** (en cas d'accident par exemple), le chef de l'EU assure la coordination générale des mesures de prévention qu'il met en place et de celles prises par l'ensemble des chefs des entreprises intervenant dans son établissement. Toutefois chaque chef d'entreprise reste responsable de l'application des mesures de prévention nécessaires à la protection de son personnel (art. R. 4511-5 du Code du travail).

Enfin, il convient de noter que la règle interdisant aux salariés de l'entreprise de communiquer avec les autres sous-traitants est inacceptable car elle porte atteinte aux droits fondamentaux des salariés et en particulier à leur liberté d'expression. Il serait en outre inenvisageable de sanctionner un salarié au motif que celui-ci aurait parlé avec un autre salarié de l'entreprise et, plus largement, de prévoir une telle règle dans un règlement intérieur ou un plan de prévention.



Tschac, tschac...  **Quels acteurs ?  
Quelles solutions ?**

**JOURNÉE  
TECHNIQUE**

**JEUDI 25 JUIN 2020**

**UIC-P ESPACES CONGRÈS — 16 RUE JEAN REY — 75015 PARIS**

Le bruit est la première nuisance citée aujourd'hui par les nombreux salariés en open-space (bureaux ouverts ou paysagers). Cette journée technique de l'INRS s'adresse aux préventeurs, services de santé au travail et chefs d'entreprise qui souhaitent améliorer ces situations de travail bruyantes.

Ces espaces sont censés faciliter la communication et la collaboration. Cependant, l'aménagement acoustique, souvent négligé à la conception, conduit à de la gêne pour l'accomplissement de l'activité, de la fatigue pour les salariés et de la perte de performance pour l'entreprise.

Pour corriger ces situations dégradées, les acteurs de terrain sont souvent démunis. Qui peut les aider à évaluer la nuisance et à aménager un nouvel espace acoustique afin de réduire durablement et efficacement le bruit en open-space ?

Cette journée technique a pour objectif de présenter une approche complète couplant les méthodes et les analyses d'ergonomes et d'acousticiens. Des exemples d'améliorations effectuées en entreprise illustreront l'approche.

**INSCRIPTION :**  
[www.inrs-bruit-openspace.fr](http://www.inrs-bruit-openspace.fr)

**CONTACT :**  
[bruit-openspace@inrs.fr](mailto:bruit-openspace@inrs.fr)

## Risques psychosociaux : outils d'évaluation

# HOSPITAL ANXIETY AND DEPRESSION SCALE (HADS)

### CATÉGORIE

### ATTEINTE À LA SANTÉ PHYSIQUE ET MENTALE

#### RÉDACTEURS :

Boini S., département Épidémiologie en entreprise, INRS

Langevin V., département Expertise et conseil technique, INRS

Ce document appartient à une série publiée régulièrement dans la revue. Elle analyse les questionnaires utilisés dans les démarches de diagnostic et de prévention du stress et des risques psychosociaux au travail. L'article, par les mêmes auteurs, « Les questionnaires dans la démarche de prévention du stress au travail » (TC 134, *Doc Méd Trav.* 2011 ; 125 : 23-35), présente cette série et propose au préventeur une aide pour choisir l'outil d'évaluation le mieux adapté.

**Annule et remplace la fiche FRPS 13 publiée en 2011 et portant le même titre.**

#### Noms des auteurs

Zigmond A.S., Snaith R.P.

#### Objectifs

Évaluation de la symptomatologie dépressive et anxieuse, en écartant les symptômes somatiques susceptibles d'en fausser l'évaluation, chez des patients vus en médecine (et présentant fréquemment des problèmes organiques).

#### Année de première publication

1983.

#### Cadre, définition, modèle

Cet outil cherche à identifier une symptomatologie anxiodépressive et à en évaluer la sévérité. Il ne cherche pas à distinguer les différents types de dépression ou états anxieux. Cette échelle a été construite en excluant tout item concernant les aspects somatiques, aspects qui pourraient être confondus entre la maladie physique et mentale.

#### Niveau d'investigation

Diagnostic.

#### Langue d'origine

Anglais (britannique).

#### Traduction

De nombreuses traductions existent. On peut citer la version française qui a fait l'objet de différentes validations [1 à 5].

#### Vocabulaire

Pas de difficulté particulière, mais rappeler aux personnes de bien lire les instructions avant de compléter le questionnaire.

#### Versions existantes

Une seule version à 14 items.

#### Structuration de l'outil

Auto-questionnaire à compléter en fonction de son état au cours de la semaine écoulée.

Les items sont répartis en deux sous-échelles :

- 7 items pour évaluer la dépression : un item pour la dysphorie, un item pour le ralentissement et cinq items pour la dimension anhédonique ;
- 7 items pour évaluer l'anxiété qui sont issus du *Present State Examination* [6] et de la *Clinical Anxiety Scale* [7].

#### Modalités de réponse et cotation

Pour chaque item, quatre modalités de réponse codées de 0 à 3.

Les items d'anxiété (n° 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13) et de dépression (n° 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) sont alternés. De plus, une alternance dans l'ordre des cotations (de 0 à 3 ou de 3 à 0) a été réalisée pour éviter le biais lié à leur répétition (items inversés).

Un score global est calculé en faisant la somme des réponses aux 14 items (varie de 0 à 42), ainsi que deux sous-scores correspondant aux deux sous-échelles (varient de 0 à 21). Plus les scores sont élevés, plus la symptomatologie est sévère.

Selon Zigmond et Snaith [8], les seuils pour les deux sous-scores permettant d'identifier les cas présentant des symptômes dépressifs ou anxieux, sont les suivants :

- de 0 à 7 : absence de troubles anxieux et de troubles dépressifs ;
- de 8 à 10 : troubles anxieux ou dépressifs suspectés ;
- de 11 à 21 : troubles anxieux ou dépressifs avérés.

Selon Ibbotson et al. [9], les seuils pour le score global sont :

- de 0 à 14 : pas de troubles anxio-

dépressifs ;

- de 15 à 42 : existence de troubles anxio-dépressifs.

La revue de la littérature conduite par Bjelland et al. en 2002 [10] conclut que le seuil recommandé pour ne pas exclure des cas de dépression ou d'anxiété est 8. Concernant le score total, bien que son utilisation ne soit pas recommandée par Zigmond et Snaith [8], le seuil de 13 [11] voire 16 [12] a été proposé par certains auteurs.

### Temps de passation

Rapide (2 à 6 minutes selon les études) et facile d'utilisation.

### Disponibilités et conditions d'utilisation

Le questionnaire original ainsi que ses traductions sont soumis à *copyright* (cf. <https://www.gl-assessment.co.uk/products/hospital-anxiety-and-depression-scale-hads/>). Son utilisation est autorisée par *GL Assessment* (cf. <https://www.gl-assessment.co.uk/contact/#contact>). Un contrat de licence doit être complété à l'avance et des frais d'utilisation sont exigés pour tous les utilisateurs (commerciaux, organismes de santé et utilisateurs universitaires).

La liste des traductions existantes peut être obtenue auprès de *Mapi Research Trust* (cf. <https://eprovide.mapi-trust.org/instruments/hospital-anxiety-and-depression-scale>).

### Qualités psychométriques

Les qualités psychométriques de l'HADS sont renseignées à partir des publications suivantes :

- Zigmond et Snaith (1983) : validation de la version originale sur 100 patients de médecine générale [8] ;
- Snaith et Taylor (1985) : validation de la version originale sur 63 patients

psychiatriques non hospitalisés [13] ;

- Razavi et al. (1989) : validation de la version française sur 228 patients cancéreux [3] ;

• Herrmann (1997) : revue de la littérature sur des données de validation de la version originale et de la version allemande [14] ;

- Friedman et al. (2001) : validation de la version française sur 2 669 patients souffrant de troubles dépressifs avérés, aigus ou chroniques [15] ;

• Bjelland et al. (2002) : revue de littérature sur des données de validation de la version originale et de différentes versions traduites (dont la version française) issues de 747 articles [10] ;

- Untas et al. (2009) : validation de la version française sur 107 patients hémodialysés [16] ;

• Roberge et al. (2013) : validation de la version française canadienne sur 14 298 sujets vus en cliniques de soins primaires, dont 3 291 avec des problèmes de santé mentale (diagnostic ou symptômes de dépression ou d'anxiété, traitements médicamenteux pour anxiété ou dépression) + validation de la version anglaise canadienne sur 535 sujets, dont 91 avec des problèmes de santé mentale [12] ;

- Bocéréan et Dupret (2014) : validation de la version française sur 20 992 employés salariés [4] ;

• Maatoug et Gorwood (2019) : validation de la version française sur un échantillon de 9 706 patients déprimés vus en médecine générale, séparés en deux sous-échantillons : 4 853 sujets pour l'échantillon test et 4 853 sujets pour l'échantillon de validation [5].

### VALIDITÉ

#### • Validité apparente

Globalement, l'échelle est bien

comprise et facile à compléter [14]. La validité apparente a été vérifiée en testant la compréhension des items auprès des malades interrogés. Par ailleurs, deux items présents initialement ont été supprimés (un dans chaque dimension) car ils étaient peu ou pas corrélés au sous-score correspondant, faisant passer l'échelle de 16 à 14 items [8].

#### • Validité critériée prédictive

Dans la revue de littérature effectuée par Herrmann [14], la validité prédictive de l'échelle a été démontrée sur l'adhésion aux traitements des patients, sur la qualité de vie (pour le sous-score dépression) et sur l'apparition de symptômes physiques (pour le sous-score anxiété).

#### • Validité de structure interne

Les analyses factorielles réalisées sur les données observées à partir des versions anglaise et allemande suggèrent une structure à deux dimensions, comme les auteurs de l'échelle [14]. La corrélation entre la sous-échelle anxiété et la sous-échelle dépression est de l'ordre de 0,63, indiquant que ces deux sous-échelles ne sont pas indépendantes. De même, dans la revue de littérature de Bjelland et al. [10], la majorité des études (11/19) conclut sur une structure à 2 facteurs (5 études identifient une structure à 3 facteurs et 2 études une structure à 4 facteurs). La corrélation moyenne calculée dans 21 études est de 0,56 entre les échelles de dépression et d'anxiété.

Dans la validation réalisée par Untas et al. [16] sur la version française, les analyses factorielles exploratoires réalisées suivies de rotations obliques (par hypothèse de non indépendance entre anxiété et dépression) ont confirmé la structuration bidimensionnelle proposée par Zigmond et Snaith [8]. La corrélation entre anxiété et dépression est statistiquement

significative mais reste modérée ( $r=0,47$ ).

Cependant, l'analyse factorielle réalisée sur la version française par Razavi et al. [3] dégage trois facteurs. Les analyses factorielles effectuées sur la version française par Friedman et al. [15] avec rotations orthogonales et obliques sur l'échantillon total, puis selon deux sous-groupes définis selon le genre, puis selon deux sous-groupes définis aléatoirement, aboutissent au même résultat : trois facteurs (et non deux comme suggérés par Zigmond et Snaith dans la version originale [8]) : un facteur qui regroupe les items « dépression », alors que les items « anxiété » se répartissent sur deux facteurs (4 items sur le facteur « anxiété psychique » et 3 items sur le facteur « agitation psychomotrice »). La corrélation entre les deux facteurs « anxiété » est de 0,34. La corrélation entre le facteur « anxiété psychique » et le facteur dépression est de 0,31 et la corrélation entre le facteur « agitation psychomotrice » et le facteur dépression est de 0,18.

Bocéréan et Dupret [4] ont réalisé des analyses factorielles exploratoires avec rotation oblique sur la version française : une solution à trois facteurs a été identifiée. Cependant, comme cette méthode tend à surestimer le nombre de facteurs, les auteurs ont considérés d'autres critères pour déterminer la structure interne du questionnaire : le poids de chaque item sur le facteur qui doit être supérieur à  $>0,30$  ; peu ou pas d'item à charge forte sur plusieurs facteurs ; pas de facteur avec moins de trois items. Au final, la structure à deux facteurs a été retenue puisque seuls les items « *je peux rester assis à ne rien faire et me sentir décontracté* » (facteur anxiété) et « *j'ai l'impression de fonctionner au ralenti* » (facteur dépression)

posaient problème en appartenant aux deux facteurs. La corrélation entre les deux facteurs « anxiété » et « dépression » est de 0,62. Enfin, des analyses factorielles confirmatoires ont été réalisées, confirmant que la structure à deux facteurs proposée par Zigmond et Snaith [8] est parmi celles qui s'ajustaient le mieux aux données. C'est donc cette structure à deux facteurs qui a finalement été retenue par Bocéréan et Dupret [4] pour la version française.

Maatoug et Gorwood [5] ont également réalisé une analyse factorielle exploratoire avec rotation orthogonale dans leur sous-échantillon test. Une structure à deux facteurs a été retenue, avec toutefois 2 items problématiques appartenant au facteur « anxiété » : « *j'ai la bougeotte et n'arrive plus à tenir en place* » et « *je peux rester assis à ne rien faire et me sentir décontracté* ». Deux analyses factorielles confirmatoires ont été réalisées (une sur les 14 items et une sans les 2 items problématiques). La version à 12 items semble plus satisfaisante [5].

Roberge et al. [12] ont confirmé par des analyses factorielles exploratoires la structure bidimensionnelle de la version française canadienne, avec un facteur « dépression » où les 7 items sont tous fortement contributifs et un facteur « anxiété » où l'item « *je peux rester assis à ne rien faire et me sentir décontracté* » est moins contributif que les autres. La corrélation entre les deux facteurs « anxiété » et « dépression » est de 0,62. Cette même structure bidimensionnelle a été retrouvée pour la version anglaise canadienne [12].

#### ● Validité de structure externe

La validité de structure externe convergente et divergente, dans les publications citées plus haut, montrent une validité de structure

externe satisfaisante. Le sous-score dépression de l'HADS est mieux corrélé avec des instruments mesurant le même concept ; de même pour le sous-score anxiété de l'HADS avec des instruments mesurant le même concept. Pour ces études de validité externe, différentes échelles ont été utilisées : l'échelle de dépression MADRS (*Montgomery and Asberg Depression Rating Scale*), l'échelle d'anxiété *Clinical Anxiety Scale*, l'échelle de dépression de von Zerssen (BFS : *Befindlichkeits-Skala*), l'échelle d'anxiété de Hamilton, l'échelle d'anxiété de De Bonis, le *General Health Questionnaire* (GHQ) 12 ou 28 (cf. FRPS17), le *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI) (cf. FRPS27), le *Beck Depression Inventory* (BDI). Dans une étude, les scores de l'HADS ont été corrélés aux résultats d'une évaluation clinique.

#### ● Validité discriminante

Bocéréan et Dupret [4] retrouvent comme attendu des scores plus élevés de dépression et d'anxiété chez les femmes comparées aux hommes, ainsi que chez les employés comparés aux cadres. De même, les scores de dépression et d'anxiété augmentent avec l'âge.

Dans la revue de littérature effectuée par Herrmann [14], la validité discriminante est satisfaisante puisque des hauts scores HADS (anxiété et dépression) ont été observés chez des patients psychiatriques alors que des faibles scores HADS ont plutôt été observés chez des personnes *a priori* saines.

#### FIDÉLITÉ

##### ● Fidélité test-retest

La fidélité, évaluée par la méthode test-retest, est satisfaisante : le coefficient de fidélité est supérieur à 0,80 après deux semaines et diminue après de plus longues périodes [14].

CATÉGORIE  
ATTEINTE À LA SANTÉ PHYSIQUE ET MENTALE● **Consistance interne**

La consistance interne, évaluée par le coefficient alpha de Cronbach, est également satisfaisante. Selon les études, il varie entre 0,68 et 0,93, avec une moyenne de 0,83 pour la sous-échelle d'anxiété, et entre 0,67 et 0,90 avec une moyenne de 0,82 pour la sous-échelle de dépression [10]. Les coefficients alpha de Cronbach valent 0,70 pour la sous-échelle de dépression et 0,53 pour la sous-échelle d'anxiété dans la version française à 14 items ; ils sont meilleurs dans la version à 12 items [5]. Les coefficients alpha de Cronbach du score global valent respectivement 0,89 et 0,87 pour les versions française et anglaise canadienne [12].

La consistance interne, évaluée par l'analyse d'items, confirme cette qualité psychométrique. Selon les études citées plus haut, les corrélations item-tout pour la sous-échelle d'anxiété varient entre 0,25 et 0,78. Les corrélations item-tout pour la sous-échelle de dépression varient entre 0,37 et 0,79. Les corrélations item-score global à l'échelle HADS varient entre 0,41 et 0,60 pour les items de la sous-échelle d'anxiété et entre 0,39 et 0,63 pour la sous-échelle de dépression (après avoir écarté pour chacune des deux sous-échelles un item « faible »). La corrélation entre le sous-score anxiété et le score global est de 0,83 et la corrélation entre le sous-score de dépression et le score global est de 0,84 (après avoir écarté pour chacune des deux sous-échelles un item « faible »).

● **SENSIBILITÉ**● **Sensibilité au changement**

Un changement précoce dans les scores HADS a été défini comme une réduction des scores à l'inclusion après deux semaines de traitement antidépresseur. Une diminution de  $7,3 \pm 6,4$  points,  $4,1 \pm 3,8$  points,

$2 \pm 2,4$  points et  $1,2 \pm 1,6$  points a été observée après deux semaines de traitement pour respectivement le score total HADS, le sous-score dépression, le sous-score « anxiété psychique » et le sous-score « agitation psychomotrice ». Par ailleurs, l'amélioration des scores et sous-scores HADS était significativement corrélée avec l'amélioration du score total selon Hamilton après 45 jours de traitement [15].

● **Sensibilité/spécificité**

En prenant les seuils donnés par les auteurs de l'échelle (cf. § « Modalités de réponse et cotation »), les pourcentages de faux positifs et de faux négatifs varient selon les études [14]. Il n'y a donc pas de consensus sur les seuils à utiliser pour discriminer les cas. Cependant, dans la revue de Bjelland et al. [10], les auteurs concluent que le seuil optimal pour la sous-échelle d'anxiété et la sous-échelle de dépression est 8, permettant d'atteindre des valeurs de sensibilité et de spécificité de l'ordre de 0,80 pour les deux sous-échelles. Concernant le score total, aucun seuil ne semble s'imposer, avec des propositions variant de 8 à 21 selon les études [10].

En utilisant le *Composite International Diagnostic Interview Simplified* (CIDIS) comme *gold standard* pour le diagnostic de dépression et/ou d'anxiété, Roberge et al. [12] identifient des seuils différents de ceux recommandés par Zigmond et Snaith [8] : 10 pour le score d'anxiété (sensibilité=66 % ; spécificité=73 %) et 7 pour le score de dépression (sensibilité=65 % ; spécificité=75 %).

● **Étalonnage**

L'échelle HADS a été utilisée dans divers contextes médicaux (patients hospitalisés, malades, personnes *a priori* saines) avec quelques descriptions des scores.

Elle a été utilisée auprès d'un nombre très important de salariés français (8 072 femmes et 12 920 hommes) [4]. Ces auteurs ont produit des tableaux avec les scores moyens de dépression et d'anxiété en fonction du genre, de l'âge et du statut professionnel (cadre ou employé).

● **Biais, critiques, limites**

Tous les auteurs ne sont pas d'accord sur la structure dimensionnelle de l'outil : celle-ci varie de deux dimensions à trois voire quatre dimensions.

Les symptômes de dépression sont mieux évalués que ceux relatifs à l'anxiété [5]. Le questionnaire HADS pourrait potentiellement gagner en cohérence dans la détection de l'anxiété, notamment par la révision de deux items de la sous-échelle d'anxiété [5].

Même si certaines valeurs semblent se détacher, il n'y a pas de consensus sur la valeur des seuils à utiliser pour classer les patients en cas (présentant des troubles anxieux et/ou dépressifs) ou non-cas. La référence externe utilisée pour établir les valeurs de sensibilité et de spécificité n'est jamais la même selon les études.

● **Observations particulières**

Le questionnaire HADS a prouvé sa capacité à identifier et évaluer la gravité des troubles anxieux et de la dépression dans les cas somatiques et psychiatriques, chez des patients de soins primaires et dans la population générale (et pas seulement dans la pratique hospitalière pour laquelle il a été initialement conçu) [10].

Les sous-échelles « anxiété » et « dépression » sont corrélées mais mesurent tout de même des concepts différents, car les corrélations observées entre chaque sous-échelle et des outils mesurant le même concept sont plus fortes que les corrélations

observées entre ces deux sous-échelles.

Le questionnaire HADS a été utilisé dans l'enquête SUMER (Surveillance médicale des expositions aux risques professionnels) 2010 de la DARES (Direction de l'animation, de la recherche et des statistiques du ministère chargé du Travail).

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | LÉPINE JP, GODCHAU M, BRUN P, LEMPÉRIÈRE T - Évaluation de l'anxiété et de la dépression chez des patients hospitalisés dans un service de médecine interne. *Ann Méd Psychol*. 1985 ; 143 (2) : 175-89.
- 2 | LÉPINE JP, GODCHAU M, BRUN P - Anxiety and depression in inpatients. *Lancet*. 1985 ; 2 (8469-70) : 1425-26.
- 3 | RAZAVI D, DELVAUX N, FARVACQUES C, ROBYE E - Validation de la version française du HADS dans une population de patients cancéreux hospitalisés. *Rev Psychol Appl*. 1989 ; 39 (4) : 295-307.
- 4 | BOCÉRÉAN C, DUPRET E - A validation study of the Hospital Anxiety and Depression scale (HADS) in a large sample of French employees. *BMC Psychiatry*. 2014 ; 14 : 354.
- 5 | MAATOUG R, GORWOOD P - The psychometrics of the Hospital Anxiety and Depression Scale supports a shorter -12 item-version. *Psychiatry Res*. 2019 ; 274 : 372-76.
- 6 | WING JK, COOPER JE, SARTOSIUS N - The measurement and classification of psychiatric symptoms. London: Cambridge University Press ; 1974 : 244 p.
- 7 | SNAITH RP, BAUGH SJ, CLAYDEN AD, HUSAIN A ET AL. - The Clinical Anxiety Scale: an instrument derived from the Hamilton Anxiety Scale. *Br J Psychiatry*. 1982 ; 141 : 518-23.
- 8 | ZIGMOND AS, SNAITH RP - The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatr Scand*. 1983 ; 67 (6) : 361-70.
- 9 | IBBOTSON T, MAGUIRE P, SELBY P, PRIESTMAN T ET AL. - Screening for anxiety and depression in cancer patients: the effects of disease and treatment. *Eur J Cancer*. 1994 ; 30A (1) : 37-40.
- 10 | BJELLAND I, DAHL AA, HAUG TT, NECKELMANN D - The validity of the Hospital Anxiety and Depression Scale. An updated literature review. *J Psychosom Res*. 2002 ; 52 (2) : 69-77.
- 11 | HINZ A, BRÄHLER E - Normative values for the hospital anxiety and depression scale (HADS) in the general German population. *J Psychosom Res*. 2011 ; 71 (2) : 74-78.
- 12 | ROBERGE P, DORÉ I, MENEAR M, CHARTRAND E ET AL. - A psychometric evaluation of the French Canadian version of the Hospital Anxiety and Depression Scale in a large primary care population. *J Affect Disord*. 2013 ; 147 (1-3) : 171-79.
- 13 | SNAITH RP, TAYLOR CM - Rating scales for depression and anxiety: a current perspective. *Br J Clin Pharmacol*. 1985 ; 19 (Suppl 1) : 17S-20S.
- 14 | HERRMANN C - International experiences with the Hospital Anxiety and Depression Scale. A review of validation data and clinical results. *J Psychosom Res*. 1997 ; 42 (1) : 17-41.
- 15 | FRIEDMAN S, SAMUELIAN JC, LANCRENON S, EVEN C ET AL. - Three-dimensional structure of the Hospital Anxiety and Depression Scale in a large French primary care population suffering from major depression. *Psychiatry Res*. 2001 ; 104 (3) : 247-57.
- 16 | UNTAS A, AGUIRREZABAL M, CHAUVEAU P, LEGUEN E ET AL. - Anxiété et dépression en hémodialyse : validation de l'Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS). *Néphrol Théor*. 2009 ; 5 (3) : 193-200.





# À VOTRE SERVICE

P. 129 **AGENDA**

P. 131 **FORMATIONS**

P. 135 **À LIRE, À VOIR**

# Agenda



**2-5 JUIN 2020**

STRASBOURG (France)

## **36<sup>e</sup> Congrès national de médecine et santé au travail**

### Thèmes :

- Enjeux de la révolution numérique et de l'innovation technologique : impact sur le travail, les risques professionnels et la santé au travail
- Préserver la santé des soignants et des médecins : de l'hôpital au domicile, en passant par le secteur médico-social
- Allergies professionnelles - immunotoxicité - interactions gènes-environnement - épigénétique et travail
- Maintien dans l'emploi et santé au travail : recommandations, expériences et bonnes pratiques
- Nouvelles pratiques en santé au travail pour une meilleure prévention : retours d'expériences, nouvelles modalités d'exercice en pluridisciplinarité, nouveaux outils
- Une organisation du travail peut-elle être bienveillante ? : implications pour le travailleur, l'entreprise et la société
- Œil et travail : évolutions des affections de l'œil et de leur prise en charge, œil et étiologies professionnelles, impact sur le travail et suivi médical
- Secteur des transports et de la logistique : évolution du travail et des risques, impact sur la santé et prévention

### RENSEIGNEMENTS

<https://www.medecine-sante-travail.com>

## **L'INRS PRÉSENT AU 36<sup>e</sup> CONGRÈS NATIONAL DE MÉDECINE ET SANTÉ AU TRAVAIL**

### **Un stand INRS et CARSAT Alsace-Moselle**

→ Pendant toute la durée du congrès, des experts (documentalistes, conseillers médicaux, ingénieurs, contrôleurs, assistantes sociales...) se tiendront à la disposition des congressistes afin de répondre aux différentes interrogations.

### **Le prix INRS de thèse de médecine du travail**

→ Créé en 1984 par l'Institut, ce prix est attribué tous les deux ans à un ou plusieurs auteurs de thèse de santé au travail qui apporte une contribution intéressante à la connaissance ou à la prévention des risques professionnels.

### **L'INRS anime ou participe à des ateliers le mardi 2 juin**

- Actualités sur les maladies professionnelles en 2020
- Enjeu des poly-expositions en milieu de travail
- Apport du logiciel Altrex dans l'évaluation de l'exposition aux agents chimiques
- Exosquelettes et prévention des troubles musculosquelettiques
- Comportement sédentaire et travail
- Passer de la communication à l'article (par les revues *Archives des maladies professionnelles* et de *l'environnement* et *Références en Santé au Travail*)

### **Un symposium organisé par l'INRS en partenariat avec la CARSAT Alsace-Moselle et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, le jeudi 4 juin 17 h 45-19 h 15, salle Marie Curie**

#### **→ Le radon, un risque méconnu**

Le radon est un gaz radioactif issu du radium naturellement présent à des teneurs variables dans le sol. Sa concentration dans l'environnement diffère donc en fonction de la géologie et il tend à s'accumuler dans les sous-sols et les locaux mal ventilés. Cancérogène avéré, il serait responsable de 10 % des cancers broncho-pulmonaires, soit approximativement 3 000 décès par an en France (2<sup>e</sup> facteur de risque de ce cancer après le tabac).

La réglementation définit un niveau de référence, à savoir une concentration dans l'air au-delà de laquelle il n'est pas souhaitable que les travailleurs soient exposés. L'employeur est tenu d'évaluer le risque radon pour l'ensemble des lieux de travail en sous-sol et en rez-de-chaussée, quelle que soit la nature de l'activité qui y est menée. En 1<sup>re</sup> analyse, l'employeur peut s'appuyer, notamment, sur la cartographie qui définit au plan communal trois « zones à potentiel radon » en fonction de la probabilité de dépassement du niveau de référence dans les bâtiments. Le mesurage, quand il s'avère indiqué, doit être réalisé sur deux mois au moins à l'automne-hiver. Si son résultat dépasse le niveau de référence, l'employeur doit mener des actions de réduction de la concentration en radon (étanchéification des points d'entrée et renouvellement de l'air) puis en vérifier l'efficacité. En fonction de ces résultats, des dispositions complémentaires doivent être mises en place (délimitation d'une zone radon, surveillance dosimétrique individuelle, suivi renforcé de l'état de santé...).

Ce symposium présentera les effets sur la santé du radon, la démarche d'évaluation réglementaire et de prévention. Seront également abordés l'action des CARSAT et le rôle des services de santé au travail.

# Agenda

## 19 JUIN 2020

PARIS (France)

**15<sup>e</sup> Journée nationale de l'Association française des intervenants en prévention des risques professionnels de services interentreprises de santé au travail (AFISST) : Le temps de la prévention, de l'intervention du SSTI à l'intégration par l'entreprise**

### Parmi les thèmes :

- Convaincre les entreprises de passer à l'action et mettre en œuvre les préconisations
- Du « faire pour » au « faire avec » et au « faire faire »

### RENSEIGNEMENTS

[www.afisst.fr](http://www.afisst.fr)

## 7-10 JUILLET 2020

PARIS (France)

**XXI<sup>e</sup> congrès international de psychologie du travail : Changements et innovations au travail, quels enjeux pour les personnes et les organisations ?**

### Parmi les thèmes :

- Changements organisationnels et technologiques, digitalisation, transformations sociotechniques du travail
- Sens, valeurs, efficacité au travail
- Émotions et activités de travail
- Sécurité, risques professionnels, pénibilité et santé au travail
- Environnement de travail, espace de travail, poste de travail

### RENSEIGNEMENTS

<https://www.aiptlf2020.fr/inscription/fr/accueil/3>

## 31 AOÛT-3 SEPTEMBRE 2020

MONTRÉAL (Canada)

**28<sup>th</sup> International Symposium on Epidemiology in Occupational Health (EPICOH 2020)**

### RENSEIGNEMENTS

<https://epicoh2020.org>

## 16-18 SEPTEMBRE 2020

PARIS (France)

**55<sup>e</sup> congrès de la Société d'ergonomie de langue française (SELF) : L'activité et ses frontières, penser et agir sur les transformations de nos sociétés**

### Parmi les thèmes :

- La pluridisciplinarité
- La diversité culturelle et le multiculturel
- Le travail aux frontières de l'entreprise et de son cadre juridique
- L'activité au-delà des frontières du travail rémunéré

### RENSEIGNEMENTS

<https://ergonomie-self.org/congres-self/congres-2020/presentation/>

## 22 SEPTEMBRE 2020

PARIS (France)

**La journée ADEREST 2020 : La prévention en santé au travail**

### RENSEIGNEMENTS

<https://www.aderest.org/la-journee-aderest-2020>

## 24 SEPTEMBRE 2020

PARIS (France)

**5<sup>e</sup> journée Jean Bertran : L'indispensables en cardiologie pour votre exercice en santé au travail**

### Parmi les thèmes :

- Cœur et droit au travail
- Quand ne pas demander un test d'effort ?
- Troubles du sommeil et conséquences au travail
- Tako tsubo et travail

### RENSEIGNEMENTS

[contact@coeur-et-travail.com](mailto:contact@coeur-et-travail.com)

## 4-10 OCTOBRE 2020

TORONTO (Canada)

**22<sup>e</sup> congrès mondial sur la sécurité et la santé au travail : La prévention dans le cadre de l'ère de la connectivité**

### Parmi les thèmes :

- Innovations visant à relever des défis de longue date liés à la sécurité et à la santé
- Conséquences de l'évolution du monde du travail au niveau de la sécurité et de la santé au travail
- Promotion d'une culture de prévention

### RENSEIGNEMENTS

*XXII World Congress on Safety and Health at Work 2020* ([www.safety2020canada.com](http://www.safety2020canada.com))

## 22-23 OCTOBRE 2020

ANGERS (France)

**Société de médecine et de santé de l'Ouest : Gestion des situations d'urgence en milieu de travail, avant, pendant, après**

### RENSEIGNEMENTS

[www.smsto.fr](http://www.smsto.fr)

## 24-25 NOVEMBRE 2020

LYON (France)

**12<sup>es</sup> Rencontres des personnes compétentes en radioprotection**

### RENSEIGNEMENTS

<https://www.sfrp.asso.fr/>

# Formations

## en santé et sécurité au travail

### Stage de l'INRS : Mettre en place une surveillance biologique de l'exposition aux agents chimiques



#### PUBLIC

→ Médecins du travail et infirmiers en santé au travail.

#### PRÉREQUIS

→ Prérequis demandés pour cette formation : bonnes connaissances du risque chimique (plus d'informations sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)).

#### OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

→ Identifier les principes et les méthodes pour mettre en place une surveillance biologique de l'exposition aux produits chimiques.  
→ Interpréter les résultats de façon pertinente.

#### CONTENU

→ Principes et méthodes de la surveillance biologique de l'exposition aux agents chimiques : objectifs, définitions, intérêts et limites, contexte réglementaire, outils de recherche d'informations, stratégie de mise en œuvre.  
→ Interprétation des résultats : valeurs biologiques d'interprétation, sources d'erreurs.  
→ Étude de cas pratiques.  
→ Témoignages sur la mise en place de la surveillance biologique des expositions professionnelles (service de santé au travail, laboratoire d'analyses biologiques).  
→ Table ronde.

#### MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

→ Exposés, études de cas concrets, table ronde et échanges de pratiques.

#### VALIDATION

→ À l'issue de la formation, une attestation de fin de formation est délivrée à chaque participant.

#### DATES ET LIEU

→ Durée 2,5 jours : du 1 au 3 décembre 2020 à Paris.

#### RENSEIGNEMENTS ET INSCRIPTIONS

*Programme complet et inscriptions sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) -> taper BI1530  
Christine Hartmann  
INRS, département Formation  
[secretariat.forp@inrs.fr](mailto:secretariat.forp@inrs.fr)*

## Stage de l'INRS : Organiser le suivi médical des salariés exposés aux agents chimiques



### PUBLIC

→ Médecins du travail

### OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

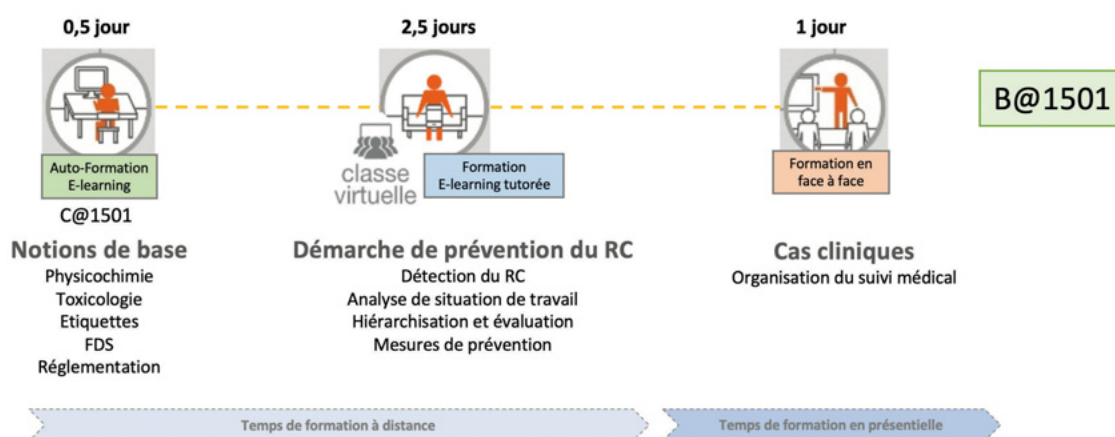
- Détecter, évaluer et hiérarchiser les risques liés aux agents chimiques aux postes de travail.
- Participer à la mise en œuvre des moyens de prévention et en apprécier la validité et l'efficacité en tant que médecin du travail.

### MÉTHODES PÉDAGOGIQUES ET CONTENU

→ Le stage se déroule en deux séquences distinctes. Une partie à distance (estimée à 3 jours) permet d'acquérir la démarche de prévention du risque chimique. Une partie en face-à-face (estimée à 1 jour) est centrée sur des cas cliniques de salariés exposés aux agents chimiques.



→ L'autoformation C@1501 permet d'acquérir les notions de bases sur les produits chimiques. Cette formation est entièrement en ligne, gratuite et s'adresse à un large public. Elle aborde les produits chimiques de façon générale. Elle peut être suivie à son rythme. Elle est intégrée dans le parcours de formation B@1501 mais peut-être suivie toute seule.



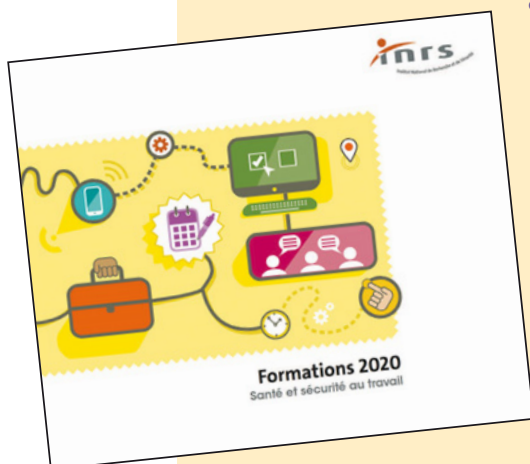
### DATES ET LIEU

- 1 session de formation mixte du 7 au 19 novembre 2020 :
- du 7 septembre au 23 octobre pour la partie à distance ;
- le 19 novembre pour la partie en présentielle à Paris.

### RENSEIGNEMENTS ET INSCRIPTIONS

Programme complet et inscriptions sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) -> taper B@1501 et C@1501  
 Rachid Boudjadja  
 Tél. : 01 40 44 31 82  
 INRS, département Formation  
[secretariat.fad@inrs.fr](mailto:secretariat.fad@inrs.fr)

**RETROUVEZ SUR LE SITE DE L'INRS ([www.inrs.fr/services/formation](http://www.inrs.fr/services/formation))  
TOUTES LES INFORMATIONS SUR LES STAGES DE FORMATION ORGANISÉS PAR L'INSTITUT,  
OUVERTS AUX PUBLICS SUIVANTS :**



- fonctionnels « sécurité et santé au travail »,
- médecins du travail,
- intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP),
- infirmiers en santé au travail et autres acteurs des services de santé au travail,
- responsables des ressources humaines, managers,
- formateurs d'organismes de formation et d'entreprises,
- formateurs en prévention des risques liés à l'activité physique,
- formateurs en sauvetage-secourisme du travail,
- membres de CSE/CSSCT,
- et tout autre préventeur d'entreprise.

Un **calendrier** des stages liste l'ensemble des disponibilités des prochaines sessions : <http://www.inrs.fr/services/formation/calendrier.html>

## Enseignement post-universitaire et formation continue

Université de Bretagne occidentale (UBO). **Formations courtes santé au travail 2020**

### RENSEIGNEMENTS ET INSCRIPTIONS

Université de Bretagne occidentale  
Pôle Formation continue en santé  
Tél. : 02 98 01 73 89  
[fcs.medecine@univ-brest.fr](mailto:fcs.medecine@univ-brest.fr)  
[www.univ-brest.fr/fcsante](http://www.univ-brest.fr/fcsante)

### Formations de l'association Cœur et travail

Stages destinés aux médecins, infirmier(e)s, assistant(e)s en santé au travail et aux intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP) 2020

### RENSEIGNEMENTS ET INSCRIPTIONS

Cœur et travail  
Tél. : 01 42 80 10 28  
[contact@coeur-et-travail.com](mailto:contact@coeur-et-travail.com)  
[www.coeur-et-travail.com](http://www.coeur-et-travail.com)

Les  
**Rendez-  
-VOUS**

Le 7 avril 2020 à 11h

travail & sécurité



## LE RISQUE ROUTIER LORS DES DÉPLACEMENTS PROFESSIONNELS

**Vous et vos équipes conduisez dans le cadre de votre travail.  
Comment prévenir les risques routiers en mission ?**

**Travail & Sécurité** propose une nouvelle table ronde en ligne.  
Des experts en prévention et des entreprises  
répondront à vos questions.



**POSEZ VOS QUESTIONS DÈS À PRÉSENT  
SUIVEZ L'ÉMISSION EN DIRECT  
OU EN REPLAY**

**Inscription sur: [inrs-rendezvous-ts.fr](https://inrs-rendezvous-ts.fr)**

# À lire, à voir

## Le choix de Gérard Moutche, membre du Comité scientifique de la revue *Références en Santé au Travail*



### L'action de formation en situation de travail – AFEST

Centre Inffo a fait paraître, en février 2020, une synthèse documentaire sur l'AFEST - l'action de formation en situation de travail - dispositif récent issu des nouvelles dispositions permises par la loi du 5 septembre 2018 pour la liberté de choisir son avenir professionnel. Centre Inffo est une association, sous tutelle du ministère chargé de la Formation professionnelle, dotée d'une mission de service public dans le champ de l'emploi, de la formation et de l'orientation professionnelles, qui assure un rôle d'animation du débat public.

L'AFEST est une modalité de formation en situation de travail existant depuis longtemps, hors de tout cadre formel, connue sous le vocable de « formation sur le tas », mais historiquement trop peu valorisée ou trop peu visible au regard des critères juridiques ou financiers amenant à la reconnaître comme étant une vraie action de formation.

Une des nouveautés de la loi de septembre 2018 est que la définition de l'action de formation s'ouvre à la formation sur le lieu de travail. Un

décret permet d'identifier ce qui peut être caractérisé comme une formation type AFEST : elle doit intégrer l'analyse de l'activité de travail, désigner un formateur pouvant exercer une fonction tutorale et comprendre la mise en place de phases réflexives distinctes des phases de mises en situation de travail, qui permettent d'observer les réalisations effectuées, les acquis, les pistes de progrès, afin de consolider et expliciter les apprentissages.

Ainsi, l'AFEST est une action de formation au même titre que le stage en présentiel ou la formation à distance. Les avantages pour le salarié et pour l'entreprise sont nombreux : favoriser les relations professionnelles entre apprenants et managers, valoriser des métiers ou certaines activités constitutives d'un métier, sécuriser des savoir-faire liés à l'expérience, les documenter ou les préciser.

La synthèse faite par Centre Inffo montre que cette modalité de formation se révèle particulièrement adaptée à certaines situations. Par exemple, lorsque les compétences de formateurs ne sont disponibles ou accessibles qu'au sein de l'entreprise, ou bien quand il s'agit de former à un savoir-faire singulier, à un environnement spécifique, ou encore de s'adapter à une évolution technologique ou organisationnelle. Ce document indique néanmoins que l'enjeu de la réussite de cette modalité de formation repose sur une véritable ingénierie pédagogique en amont, ainsi que sur l'implication du management ou des RH tout au long du processus d'apprentissage.

Sous réserve du respect des critères définissant l'action comme étant éligible à l'AFEST, les OPCO (opérateurs de compétences – ex OPCA) peuvent financer ces formations, mais

seulement pour les entreprises de moins de 50 salariés, via le plan de développement des compétences. Le financement est une des conditions de la réussite du déploiement de ce dispositif vers les TPE-PME, mais pas la seule.

Qu'en est-il de l'adaptation de cette modalité pour les formations à la prévention des risques professionnels ? La synthèse n'évoque pas directement cette question car les expérimentations sont encore trop récentes et les communications peu diffusées. Pour autant, ce type de formation est par nature très adapté à l'apprentissage intégrant la prévention des risques professionnels, et ce directement via le geste professionnel, en situation de travail. Ainsi, des possibilités sont maintenant données à beaucoup d'entreprises pour mettre en place, en leur sein, des formations métier ou techniques où la prévention peut être entièrement présente, inscrite au cœur des compétences professionnelles attendues. Il appartient dorénavant aux branches professionnelles, et aux nouveaux OPCO conseillant ces branches en matière de formation professionnelle continue, de proposer aux entreprises d'intégrer de façon systématique et explicite tout savoir-faire ou toute compétence en santé sécurité au travail dans les formations faisant appel à ce dispositif. Un des moyens est de les inclure dans les documents décrivant l'activité (ex : fiche de poste, référentiel métier, mode opératoire, procédure...) et de les mettre au cœur de la réflexivité prévue dans les modalités elles-mêmes.

**Document téléchargeable à cette adresse : [https://www.ressources-de-la-formation.fr/index.php?lvl=notice\\_display&id=71472](https://www.ressources-de-la-formation.fr/index.php?lvl=notice_display&id=71472)**



# LES BIOTECHNOLOGIES

Quels secteurs ?  
Quels risques ?  
Quelle prévention ?



**Mardi 13 octobre 2020**

Maison de la RATP, Espace du Centenaire, 189 rue de Bercy, 75012 Paris

Les biotechnologies sont présentes dans de nombreux secteurs professionnels (santé, industrie, agroalimentaire, environnement). Elles mettent en œuvre des organismes vivants ou leurs composants et peuvent présenter des risques professionnels spécifiques.

Des experts et des acteurs d'entreprises

impliqués dans la prévention des risques liés aux biotechnologies vous présenteront le contexte réglementaire, leurs retours d'expériences et les bonnes pratiques à mettre en œuvre.

Cette journée s'adresse aux chargés de prévention, aux services de santé au travail et aux chefs d'entreprise.

**JOURNÉE  
TECHNIQUE**

avant  
de prendre  
la route

ARRIMER

LES

CHARGES

Attacher  
les charges  
vous protège  
et protège  
les autres.



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 - Création : Eva Minem - Photo : S.Martinelli © INRS 2019 - AD 825

Découvrez nos nouvelles affiches  
sur les risques liés aux déplacements professionnels

Pour en savoir plus :  
[www.inrs.fr/deplacements](http://www.inrs.fr/deplacements)



# RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL EST AUSSI SUR INTERNET



The screenshot displays the homepage of the website 'Références en Santé au Travail'. At the top, there are navigation links: 'Ma sélection', 'Fils RSS', 'Summaries in English', 'La revue en PDF', and 'Contactez la rédaction'. The main header features the 'inrs' logo and the title 'RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL'. Below the header is a search bar with a 'Rechercher' button and a link to 'Index de la revue de A à Z'. A secondary navigation bar includes categories like 'Grand angle', 'Vu du terrain', 'Pratiques & métiers', 'Suivi pour vous', 'Mise au point', 'Outils repères', and 'Infos à retenir'. The main content area is divided into several sections: 'Accueil' with a featured article on 'Prévention de l'exposition au protoxyde d'azote sous forme MEOPA'; 'En bref' with a list of recent news items; 'Fiches thématiques' with links to various professional health topics; 'Vos questions / nos réponses' with a list of frequently asked questions; 'Agenda / Formations' with upcoming events; and 'En pratique' with a link to a PDF document. The featured article includes a photo of a person wearing a respirator and a detailed text description of the study conducted in a hospital setting.

RETROUVEZ SUR LE SITE  
**rst-sante-travail.fr**

**TOUS LES ARTICLES PUBLIÉS DANS LA REVUE  
RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL**

# RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

## LA REVUE

La revue *Références en Santé au Travail* a pour objet d'apporter aux équipes des services de santé au travail des informations médicales, techniques et juridiques utiles à l'accomplissement de leurs missions.

Cette revue périodique trimestrielle est publiée par l'INRS, Institut national de recherche et de sécurité.

La rédaction se réserve le droit de soumettre l'article au comité de rédaction de la revue ou à un expert de son choix pour avis avant acceptation.

## LE TEXTE

Le texte rédigé en français est adressé à la rédaction sous la forme d'un fichier Word, envoyé par mail (ou fourni sur une clé USB).

Les règles élémentaires de frappe dactylographique sont respectées ; le formatage est le plus simple possible, sur une colonne, sans tabulation ni saut de pages. La frappe ne se fait jamais en tout majuscules : Titre, intertitre ou noms d'auteurs sont saisis en minuscules.

La bibliographie est placée en fin de texte par ordre alphabétique de préférence, suivie des tableaux et illustrations, et enfin des annexes.

Tout sigle ou abréviation est développé lors de sa première apparition dans le texte.

Les sous-titres de même niveau sont signalés de façon identique tout au long du texte.

Un résumé en français (maximum 10 lignes) accompagne l'article, ainsi que des points à retenir : il s'agit, en quelques phrases brèves, de pointer les éléments essentiels que le ou les auteurs souhaitent que l'on retienne de leur article.

La liste des auteurs (noms, initiales des prénoms) est suivie des références du service et de l'organisme, ainsi que la ville, où ils exercent leur fonction.

Des remerciements aux différents contributeurs autres que les auteurs peuvent être ajoutés.

## LES ILLUSTRATIONS ET LES TABLEAUX

Les figures, photos, schémas ou graphiques... sont numérotés et appelées dans le texte.

Tous les éléments visuels sont clairement identifiés et légendés.

Les photographies sont fournies sous format numérique (PDF, EPS, TIFF OU JPG...), compressés (zippés) et envoyés par mail. Leur résolution est obligatoirement de qualité haute définition (300 dpi).

Ces recommandations aux auteurs s'inspirent des exigences uniformes éditées par le groupe de Vancouver. Ce groupe de rédacteurs de revues biomédicales, réuni en 1978 afin d'établir des lignes directrices sur le format des manuscrits, est devenu depuis le Comité international des rédacteurs de revues médicales (CIRRM) et a produit une cinquième édition des exigences uniformes. Le style Vancouver de ces exigences est inspiré en grande partie d'une norme ANSI (*American National Standards Institute*) que la NLM (*National Library of Medicine*) a adoptée pour ses bases de données (*ex. Medline*). Les énoncés ont été publiés dans le numéro du 15 février 1997 du *JAMC, Journal de l'Association Médicale Canadienne*.

Les directives aux auteurs sont également disponibles en français sur le site Internet de la CMA, *Canadian Medical Association*, à l'adresse suivante : [www.cma.ca](http://www.cma.ca)

## LES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### Les références bibliographiques sont destinées :

- à conforter la crédibilité scientifique du texte,
- à permettre au lecteur de retrouver facilement le document cité.

La bibliographie, placée en fin d'article, de préférence par ordre alphabétique, est toujours saisie en minuscules. Dans le texte, les éléments bibliographiques sont indiqués entre crochets (auteurs, année de publication, et lettre alphabétique lorsque plusieurs articles du ou des mêmes auteurs ont été publiés la même année).

Si la bibliographie est numérotée, elle suit l'ordre d'apparition des références dans le texte.

Lorsqu'il y a plus de quatre auteurs, ajouter la mention : « et al. »

Les titres des revues sont abrégés selon la liste de l'*Index Medicus* : [www.nlm.nih.gov](http://www.nlm.nih.gov)

### Forme générale pour un article :

Nom(s) prénom(s) (initiales) – Titre de l'article. Titre de la revue abrégé. année ; volume (numéro, supplément ou partie\*) : première - dernière pages de l'article.

\* Si données disponibles.

Pour les auteurs anonymes, la référence bibliographique commence par le titre de l'article ou de l'ouvrage.

Pour un article ou un ouvrage non encore publié mais déjà accepté par l'éditeur, joindre la mention « à paraître ».

Si volume avec supplément : 59 suppl 3 - Si numéro avec supplément : 59 (5 suppl 3) - Si volume et partie : 59 (Pt 4)

**Exemple article de revue :** Souques M, Magne I, Lambrozo J - Implantable cardioverter defibrillator and 50-Hz electric and magnetic fields exposure in the workplace. *Int Arch Occup Environ Health*. 2011 ; 84 (1) : 1-6.

### Forme générale pour un ouvrage :

Nom(s) prénom(s) (initiales) – Titre de l'ouvrage. Numéro d'édition\*. Collection\*. Ville d'édition : éditeur ; année : nombre total de pages\*.

\* Si données disponibles.

**Exemple ouvrage :** Gresy JE, Perez Nuckel R, Emont P - Gérer les risques psychosociaux. Performance et bien-être au travail. Entreprise. Issy-les-Moulineaux : ESF Editeur ; 2012 : 223 p.

**Exemple chapitre dans un ouvrage :** Coqueluche. In: Launay O, Piroth L, Yazdanpanah Y. (Eds\*) - E. Pilly 2012. Maladies infectieuses et tropicales. ECN. Pilly 2012. Maladies infectieuses et tropicales. 23<sup>e</sup> édition. Paris : Vivactis Plus ; 2011 : 288-90, 607 p.

\* On entend ici par « Ed(s) » le ou les auteurs principaux d'un ouvrage qui coordonnent les contributions d'un ensemble d'auteurs, à ne pas confondre avec la maison d'édition.

**Exemple extrait de congrès :** Bayeux-Dunglas MC, Abiteboul D, Le Bâcle C - Guide EFICATT : exposition fortuite à un agent infectieux et conduite à tenir en milieu de travail. Extrait de : 31<sup>e</sup> Congrès national de médecine et santé au travail. Toulouse, 1-4 juin 2010. *Arch Mal Prof Environ*. 2010 ; 71 (3) : 508-09.

**Exemple thèse :** Derock C – Étude sur la capillaroscopie multiparamétrique sous unguéale des expositions chroniques professionnelles en radiologie interventionnelle. Thèse pour le doctorat en médecine. Bobigny : Université Paris 13. Faculté de médecine de Bobigny « Léonard de Vinci » : 177 p.

### Forme générale pour un document électronique :

Auteur - Titre du document. Organisme émetteur, date du document (adresse Internet)

**Exemple :** Ménard C, Demortière G, Durand E, Verger P (Eds) et al. - Médecins du travail / médecins généralistes : regards croisés. INPES, 2011 ([www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/1384.pdf](http://www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/1384.pdf)).

### Forme générale pour une base de données

Nom de la base de données. Organisme émetteur, année de mise à jour de la base (adresse Internet)

**Exemple :** BIOTOX. Guide biotoxicologique pour les médecins du travail. Inventaire des dosages biologiques disponibles pour la surveillance des sujets exposés à des produits chimiques. INRS, 2012 ([www.inrs.fr/biotox](http://www.inrs.fr/biotox)).

### Forme générale pour un CD-Rom ou un DVD

Auteurs Nom(s) prénom(s) (initiales) – Titre du CD-Rom. Numéro d'édition\*. Collection\*. Ville d'édition : éditeur ; année : 1 CD-ROM.

\* Si données disponibles.

**Exemple :** TLVs and BEIs with 7<sup>th</sup> edition documentation. CD-ROM 2011. Cincinnati : ACGIH ; 2011 : 1 CD-Rom.