

RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL

> Revue trimestrielle de l'INRS

**FABRICATION ADDITIVE
OU IMPRESSION 3D**

→ Procédés et risques spécifiques

**PATHOLOGIES DE LA COIFFE
DES ROTATEURS**

→ Le retour à l'emploi

OTOTOXICITÉ DES MÉTAUX

→ Classification et situations
de travail

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

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 BUAOUI**

Correctrice et assistante de gestion: **CYNDIE JACQUIN-BRISBART**

Chargée de rubrique Allergologie professionnelle:
NADIA NIKOLOVA-PAVAGEAU

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

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

MYRIAM BOUSELHAM, GABRIELA CAETANO, MARIE-ANNE GAUTIER, PHILIPPE HACHE, ALEXANDRA KARSENTY, SOPHIE ROBERT
ET L'ATELIER CAUSSE

ACTUALITÉS

RÉF. PAGE

AC 154 P. 5
INFOS À RETENIR
 L'Assurance maladie - Risques professionnels et l'INRS proposent des outils opérationnels pour aider les très petites entreprises à prévenir les risques au travail

P. 8
NOUVEAUTÉS DE L'INRS
 Brochures, dépliants, affiches, documents en ligne...

P. 10
PARTICIPEZ À LA RECHERCHE
 Le projet ENVIE : une étude nationale sur la vitalité intellectuelle et l'environnement

TF 286 P. 63
 Les facteurs potentiels de « décrochage professionnel » : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère

TF 287 P. 77
 Contexte de contamination des soignants par le SARS-CoV-2 pendant la première vague de l'épidémie

TM 63 P. 85
PRATIQUES ET MÉTIERS
 Quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?

TM 64 (4 p.)
 Surveillance médicoprofessionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à la silice cristalline. Synthèse de la recommandation de bonne pratique. Janvier 2021 (*uniquement en ligne*)

CONNAISSANCES ET RÉFÉRENCES

RÉF. PAGE

TC 173 P. 13
GRAND ANGLE
 Ototoxicité des métaux

TC 174 P. 33
 Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel : particularités et problématique du retour à l'emploi

TF 285 P. 53
VU DU TERRAIN
 Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins

TD 278 P. 97
SUIVI POUR VOUS
 Prévalence, prévention et politique en matière de troubles musculosquelettiques : qu'avons-nous appris ? Preuves issues de la recherche de l'EU-OSHA. Conférence en ligne, 22 octobre 2020

TD 279 P. 103
 Polyexpositions, conditions de travail et santé. 6^e journée de l'Institut Santé-Travail Paris-Est (IST-PE) Conférence en ligne, 25 novembre 2020

TP 45 P. 109
MISE AU POINT
 La rougeole

TP 46 P. 119
 Tests de génotoxicité : identifier des biomarqueurs d'effet lors des expositions à des agents cancérigènes

TP 47 P. 131
 Fabrication additive ou impression 3D

OUTILS REPÈRES

RÉF. PAGE

VOS QUESTIONS/NOS RÉPONSES

QR 155 P. 143 Travail en 3x8 : peut-on limiter les effets sur la santé ?

QR 156 P. 147 Typhoïde : y a-t-il une obligation vaccinale ?

À VOTRE SERVICE

PAGE

AGENDA

P. 149 De mai 2021 à juin 2022

FORMATION

P. 151 Stage de l'INRS : Médecin du travail et radioprotection

RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL

www.rst-sante-travail.fr

EN LIGNE :

Surveillance médicoprofessionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à la silice cristalline. Synthèse de la recommandation de bonne pratique. Janvier 2021. **TM 64**, 4 p.

**ABONNEZ-VOUS
GRATUITEMENT
À LA REVUE**

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

www.rst-sante-travail.fr

Chaque mois, la rubrique « **Juridique** » est à retrouver sur :

www.inrs.fr/header/actualites-juridiques.html

Les recommandations aux auteurs sont disponibles en ligne sur le site de la revue, dans la rubrique « **En pratique** ».

1

ACTUALITÉS

P. 5 **INFOS À RETENIR**

P. 8 **NOUVEAUTÉS DE L'INRS**

P. 10 **PARTICIPEZ À LA RECHERCHE**

L'Assurance maladie - Risques professionnels et l'INRS proposent des outils opérationnels pour aider les très petites entreprises à prévenir les risques au travail

Dans le cadre du programme conduit par l'INRS et l'Assurance maladie - Risques-professionnels à destination des très petites entreprises (TPE), plusieurs nouvelles offres ont été récemment mises en ligne sur les sites de l'INRS et Ameli. Les secteurs concernés sont les métiers de bureaux, incluant une rubrique dédiée au télétravail, les commerces de bouche (boucherie-charcuterie, poissonnerie, boulangerie-pâtisserie-chocolaterie-glacerie, commerces alimentaires de proximité), les industries graphiques, la collecte et le traitement des déchets et les métiers des soins esthétiques et de la coiffure. De nombreuses nouvelles offres sont prévues d'ici la fin de l'année 2021 (**encadré ci-dessous**).

Depuis une dizaine d'années, les TPE ont été identifiées comme une cible prioritaire des différentes politiques de promotion de la santé et de la sécurité au travail, que ce soit en France ou au niveau européen.

Le programme en cours s'adresse en priorité aux entreprises de 1 à 19 salariés. Celles-ci représentent 93 % des entreprises françaises employant au moins un salarié, et plus de 5,2 millions de salariés, soit 27,5 % d'entre eux. En matière de sinistralité, ce sont près de 145 000 accidents du travail (AT) déclarés chaque année par ces entreprises (22,2 % des AT en 2018).

Les secteurs d'activité concernés par les nouvelles offres

Restauration – Hôtellerie – Commerces

- Restauration traditionnelle
- Restauration rapide
- Traiteurs - organisation de réception
- Hôtellerie
- Boulangerie – pâtisserie – chocolaterie – glacerie
- Commerces d'alimentation de proximité
- Boucherie – charcuterie
- Poissonnerie
- Commerce de gros alimentaire
- Commerce de détail non alimentaire
- Commerce de gros non alimentaire

Transports et environnement

- Tri et traitement des déchets
- Collecte des déchets
- Transport routier de marchandises
- Transport routier de voyageurs
- Déménagements
- Ambulances
- Messagerie - Fret Express

Services

- Activités de bureau
- Coiffure
- Soins esthétiques
- Métiers de la propreté
- Vétérinaires

- Aide à domicile
- Clubs sportifs
- Accueil de jeunes enfants
- Milieu associatif

Industrie / Métallurgie / Plasturgie

- Industries graphiques
- Traitement et revêtement des métaux
- Mécanique industrielle
- Métallerie, travaux des métaux
- Réparation automobile
- Commerce automobile
- Plasturgie

Filière agricole tropicale

L'approche retenue s'appuie sur une expérimentation menée entre 2014 et 2017 sur quatre métiers : la restauration traditionnelle, le transport routier de marchandises, les garages et les maçons. Cette expérimentation a permis de définir les grands principes à mettre en œuvre afin d'accompagner ces petites entreprises dans leurs actions de prévention :

- **Privilégier une approche sectorielle ou « approche métier ».** Cette approche permet de cibler les principaux risques rencontrés dans chaque profession et facilite l'appropriation de la démarche par la contextualisation de ces risques au sein d'un environnement ou d'un processus de production immédiatement identifiable par le chef d'entreprise.

- **Proposer des solutions de prévention directement opérationnelles,** ces entreprises ne disposant ni du temps ni des compétences en interne pour conduire une démarche approfondie d'analyse de leurs risques et formaliser un plan d'action adapté. Cette prévention « prescrite » répond à la demande de solutions concrètes exprimée par ces entreprises principalement mobilisées sur des enjeux de courts termes, économiques, techniques, commerciaux.

- **S'appuyer sur des partenaires connus de ces entreprises,** les Organisations professionnelles principalement mais également certains OPCO (opérateurs de compétences), les chambres consulaires, ou localement certains services de Santé au travail. Ces partenaires sont indispensables à la fois dans la construction d'une offre adaptée à chaque métier puis, dans un second temps, dans le déploiement de cette offre auprès des entreprises.

- **Proposer une offre de services cohérente,** facilement accessible et dans la mesure du possible **directement utilisable** par l'entreprise elle-même, sans accompagnement ou formation particulière, en s'appuyant sur une offre d'outils et de produits disponibles en ligne.

Si l'approche sectorielle est un élément clé de la promotion de la santé et de la sécurité au travail auprès des petites entreprises, elle constitue également un défi en termes de ressources à mettre en œuvre pour répondre aux besoins de l'ensemble des secteurs potentiels (la nomenclature NAF comporte plus de 700 postes au niveau le plus détaillé).

Dans le cadre du programme TPE 2018-2022, un premier travail d'analyse statistique a été réalisé afin d'identifier les secteurs à cibler en priorité selon deux critères principaux : la part des entreprises de 1 à 19 salariés dans le secteur et les différents indicateurs de sinistralité AT-MP (accidents du travail-mala-

dies professionnelles). Au terme de cette démarche, trente-huit secteurs ont été identifiés dans tous les domaines d'activité, commerce, industrie, service, transports... Ces trente-huit secteurs couvrent 55 % des entreprises de 1 à 19 salariés mais sont à l'origine de 78 % des AT survenus en 2018 dans les entreprises de cette taille. Il s'agit donc bien de mener une approche ciblée sur les secteurs ayant la plus forte sinistralité en termes d'AT.

Pour chacun des métiers ciblés, une offre de services est développée en lien avec les organisations professionnelles concernées. Cette offre de services, en cours de réalisation, sera à terme constituée d'un outil d'aide à l'évaluation des risques sectoriel, en ligne et interactif, qui permettra aux entreprises d'éditer leur document unique d'évaluation des risques (DUER) et leur plan d'action, de différents produits d'édition (dépliants, fiches solutions, aide à l'acquisition de matériels), d'une offre dédiée à l'accueil des nouveaux embauchés et d'une offre de formation à la prévention des risques professionnels dédiée aux chefs d'entreprise TPE.

Afin de permettre aux entreprises un accès facilité à l'offre qui leur est dédiée, des pages internet sectorielles sont prévues sur les sites de l'INRS (www.inrs.fr) et de l'Assurance maladie (ameli.fr).

Pour les métiers mentionnés au début de cet article, les pages sont en ligne avec les premiers éléments de l'offre qui constituent un dépliant présentant les principaux risques et mesures de prévention associées par secteur et l'outil d'aide à l'évaluation des risques sectoriel (ex. Boucherie-charcuterie, [figure 1](#)). Élaboré sur la plateforme OiRA de l'agence européenne EU-OSHA, cet outil d'aide à l'évaluation des risques en ligne s'articule autour des différentes situations de travail spécifiques à chaque secteur. Pour chaque risque identifié, une question permet à l'entreprise d'évaluer son niveau de prise en compte de ce risque, puis de sélectionner les « mesures déjà en place » ou les « mesures à mettre en œuvre » à partir d'une liste pré-définie. L'outil permet également d'ajouter des risques et des mesures propres à l'entreprise. Au terme de la démarche d'évaluation, celle-ci pourra télécharger son rapport d'évaluation (DUER) et le plan d'actions associé.

L'ensemble des offres sectorielles seront mises en ligne d'ici la fin de l'année 2021, puis chaque offre sera progressivement complétée, notamment par la création de plusieurs « fiches solutions », qui permettront de détailler les mesures de prévention à mettre

Figure 1 : L'offre en ligne pour les boucheries-charcuteries

Boucherie – Charcuterie : des solutions pour agir

Trouvez des ressources et un accompagnement pour mettre en oeuvre vos actions de prévention.

Évaluez les risques dans votre entreprise



Outil d'évaluation des risques professionnels - Boucherie - Charcuterie

Cet **outil en ligne (OIRA)**, adapté à votre métier, en libre accès, vous permet d'évaluer les risques professionnels dans votre entreprise ; de réaliser et mettre à jour votre document unique et de mener des actions de prévention dans votre entreprise.

Accédez à l'outil
Accédez à la présentation de l'outil

En complément de cet outil : reportez-vous au **Plan d'actions Covid-19**

Trouvez un accompagnement près de chez vous



Les Caisses régionales de l'Assurance maladie – Risques professionnels (Carsat, Cramif, CGSS) peuvent vous apporter appui et conseil pour conduire vos actions de prévention des risques professionnels.

Pour en savoir plus : www.ameli.fr

Consultez une sélection de publications (fiches pratiques, brochures, dépliants, etc.)

– Dépliant

DEPLIANT 11/2020 | ED 6382



Boucherie - Charcuterie

Ce dépliant présente les principaux risques liés aux secteurs de la boucherie et de la charcuterie ainsi que les mesures de prévention à mettre en oeuvre.

en œuvre sur une sélection de risques spécifiques à chaque profession. Des fiches sont ainsi d'ores et déjà disponibles, notamment pour la restauration traditionnelle, le commerce de détail non alimentaire, le transport routier de marchandises et les prothésistes optiques.

Une campagne de communication pilotée par l'Assurance maladie - Risques-professionnels, accompagne la sortie des différents outils, associant communiqué de presse, campagne en ligne et achat d'espaces dans la presse professionnelle afin d'assurer le soutien promotionnel de cette action de grande ampleur.

Brochures, dépliants, affiches, documents en ligne...

Mise à jour des affiches : Mesures barrières au travail, Repas et pause, Réunion

Réf. INRS A 844, A 845 et A 846



Évaluer les facteurs de risques psychosociaux : l'outil RPS-DU

Démarche de prévention

Cette brochure porte sur la démarche d'évaluation des risques psychosociaux (RPS) en entreprise, en vue de leur intégration dans le document unique d'évaluation des risques professionnels et de la mise en place de mesures de prévention. Elle décrit les différentes étapes de cette démarche, en répondant aux questions les plus courantes sur le sujet. Elle contient une grille d'évaluation des principaux facteurs de RPS (l'outil RPS-DU), un tableau de synthèse et livre des exemples de pistes d'action dans un tableau de suivi des actions de prévention.

Réf. INRS ED 6403, 44 p.

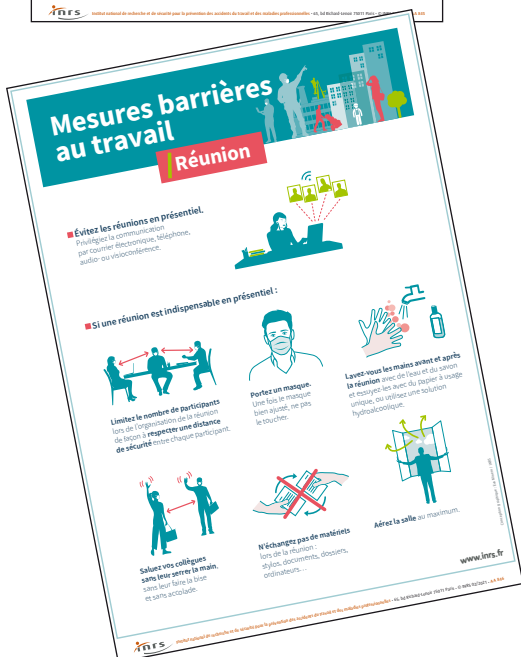


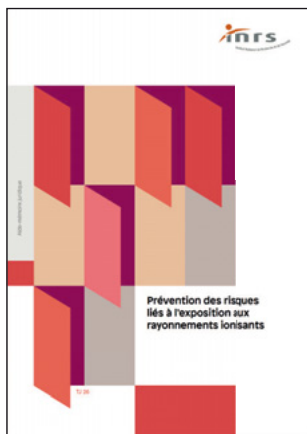
Les nanomatériaux manufacturés

Définitions, effets sur la santé, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention

Ce document fait le point sur les caractéristiques et les applications des nanomatériaux manufacturés, les connaissances toxicologiques actuelles, les outils de caractérisation de l'exposition professionnelle et les moyens de prévention.

Réf. INRS ED 6050, 56 p.





Prévention des risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants

Aide-mémoire juridique

Cet aide-mémoire juridique présente les dispositions légales et réglementaires applicables en matière de prévention des risques liés aux rayonnements ionisants. Il détaille, notamment, les conditions d'emploi des travailleurs, la démarche de prévention, les vérifications de l'efficacité des moyens de prévention, ainsi que les dispositions applicables en matière de suivi de l'état de santé des travailleurs exposés à ce type de risques.

Réf. INRS TJ 26, 40 p.



Environnement sonore en bureaux ouverts : évaluation de la gêne et démarche d'amélioration

Démarche de prévention

Travailler en bureau ouvert, c'est être soumis à un environnement sonore généré par le collectif et les équipements de travail. Cet environnement peut être gênant et avoir des conséquences néfastes sur la santé des salariés comme sur la performance de l'entreprise. Cette brochure présente une démarche progressive qui débute par une simple observation de l'environnement de travail pour se terminer par une évaluation acoustique effectuée par un expert. À chaque étape de la démarche, des pistes de progrès sont proposées.

Réf. INRS ED 6402, 24 p.



Grille de positionnement en santé et sécurité au travail : une nouvelle version de l'outil 35 en ligne

<https://www.inrs.fr/publications/outils/GPSST/outil.html>

La grille de positionnement en santé et sécurité au travail (GPSST) permet d'évaluer l'organisation de la prévention des risques d'une entreprise de manière détaillée et collective. L'INRS propose une nouvelle version de l'outil en ligne (outil 35) offrant aux acteurs de la prévention une démarche personnalisable pour définir leurs propres priorités d'actions.



Dossier web : Prévenir les risques liés au Meopa

<https://www.inrs.fr/risques/meopa/ce-qu-il-faut-retenir.html>

Un nouveau dossier web présente les mesures de prévention à mettre en place pour prévenir l'inhalation de Meopa par le personnel de soins. Le Meopa, mélange équimolaire d'oxygène et de protoxyde d'azote, est un médicament soumis à prescription médicale, administré par inhalation pour soulager la douleur des patients ou les aider à gérer leur anxiété lors d'actes de soins de courte durée.



Le projet ENVIE : une étude nationale sur la vitalité intellectuelle et l'environnement

La recherche sur les prédictors environnementaux des inégalités en termes de fonctionnement neurocognitif chez l'adulte et chez l'adulte vieillissant s'est développée ces dernières décennies. Cependant, peu de travaux ont porté sur l'impact de la vie de travail sur la qualité de ce fonctionnement neurocognitif. La nocivité de certaines conditions de travail, comme les horaires atypiques de travail par exemple, sur différents plans de la santé ont été renseignées mais leurs effets sur le plan neurocognitif à court, moyen et long termes en fonction de l'âge de l'individu restent à étudier.

Objectifs

- Le projet ENVIE, « Étude Nationale sur la Vitalité Intellectuelle et l'Environnement », a pour objectif de mieux comprendre les disparités observées dans la manière dont les individus fonctionnent sur le plan cognitif (par exemple la mémoire, le raisonnement), affectif et émotionnel (par exemple l'expression et la régulation des émotions) et de la personnalité, tout au long de la vie adulte.

Il cherche en particulier à étudier les effets de la vie de travail sur le fonctionnement cognitif, social (qualité de la vie sociale) et émotionnel (satisfaction dans la vie, humeur) des adultes.

Protocole

Cette enquête se fait exclusivement sur internet et consiste à :

- passer un ensemble de tests cognitifs (ex : tests de mémoire, de rapidité, de raisonnement) ;
- remplir un ensemble de questionnaires (ex : conditions de travail, bien-être).

Les tests et questionnaires peuvent être remplis en plusieurs fois, dans un délai de 45 jours. La durée totale de passation est estimée à 4 heures.

Dans un second temps, il sera proposé de repasser ces mêmes tests et répondre aux mêmes questionnaires tous les 3 ans, afin de mieux comprendre l'évolution dans le temps des fonctions cognitives, comme par exemple la mémoire.

Critères d'inclusion et participation

- Toute personne majeure – en activité, en rupture d'activité, retraitée ou encore étudiante – comprenant et lisant le français et qui souhaite participer. Les réponses peuvent être anonymes, il est néanmoins nécessaire pour répondre à l'enquête de créer un compte sur le site <https://projet-envie.fr/>.

Bénéfices

- Les avantages attendus de cette recherche sont d'obtenir une meilleure compréhension des facteurs qui influencent le fonctionnement cognitif à tous les âges de la vie. Ces connaissances pourront contribuer à l'amélioration des conditions de vie et de travail par l'identification des facteurs de risques les plus importants et des facteurs protecteurs les plus impactants sur le plan de la santé.

Responsables d'étude à contacter :

Édith Galy ou Andréa Soubelet,
 Université Côte d'Azur : edith.galy@univ-cotedazur.fr ;
andrea.soubelet@univ-cotedazur.fr

Abonnez-vous à HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

LA REVUE TRIMESTRIELLE
TECHNIQUE DE L'INRS

Des articles
d'analyse et de synthèse

Des actualités
juridiques et normatives

Des outils
pratiques et des méthodes

Pour vous aider
à mettre en œuvre
la prévention des risques
professionnels
en entreprise



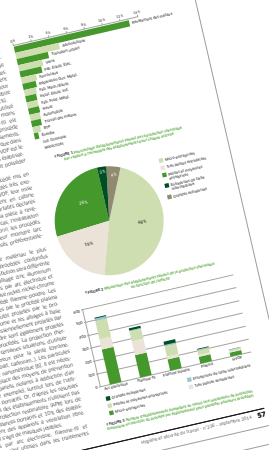
Dossier DU NOUVEAU DANS LA PRÉVENTION DES RISQUES CHIMIQUES

- Les produits chimiques au travail : les risques souvent ignorés
- Le règlement CCM, comprendre la classification et l'étiquetage des produits chimiques
- Chromes VI, les expositions réelles et les enjeux
- Prévenir et protéger les travailleurs : nouvelles méthodes et outils
- Le règlement CCM, comprendre la classification et l'étiquetage des produits chimiques
- Chromes VI, les expositions réelles et les enjeux
- Prévenir et protéger les travailleurs : nouvelles méthodes et outils

En 2015, deux articles marquent la prévention des risques chimiques, qui concerne particulièrement les secteurs d'activité. Au niveau européen, le règlement CCM (classification, étiquetage et emballage des produits chimiques) est entré en vigueur le 1er juin 2015. Les entreprises sont donc confrontées à de nouvelles obligations. En France, le décret n° 1234 du 15 septembre 2015 a permis de passer de la réglementation européenne à la réglementation française. Ce décret a permis de mettre en place un système de classification, d'étiquetage et d'emballage des produits chimiques qui est plus adapté à la situation française.

Les changements pour l'évaluation des risques chimiques, qui concerne particulièrement les secteurs d'activité. Au niveau européen, le règlement CCM (classification, étiquetage et emballage des produits chimiques) est entré en vigueur le 1er juin 2015. Les entreprises sont donc confrontées à de nouvelles obligations. En France, le décret n° 1234 du 15 septembre 2015 a permis de passer de la réglementation européenne à la réglementation française. Ce décret a permis de mettre en place un système de classification, d'étiquetage et d'emballage des produits chimiques qui est plus adapté à la situation française.

Notes techniques



ENJEUX & SOLUTIONS

| Produit | Concentration | Exposition | Risque |
|---------------------|---------------|------------|--------|
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Ammoniac | 5% | 5h | Moyen |
| Chlorure de sodium | 1% | 1h | Faible |
| Alcool éthylique | 20% | 2h | Moyen |
| Acétone | 15% | 15h | Moyen |
| Formaldéhyde | 0,1% | 0,1h | Faible |
| Chlorure de calcium | 1% | 1h | Faible |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide nitrique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide phosphorique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide sulfurique | 10% | 10h | Élevé |
| Acide chlorhydrique | | | |

2

CONNAISSANCES ET RÉFÉRENCES

P. 13 GRAND ANGLE

P. 53 VU DU TERRAIN

P. 85 PRATIQUES & MÉTIERS

P. 97 SUIVI POUR VOUS

P. 109 MISE AU POINT

Ototoxicité des métaux

AUTEURS :

L. Coates-Verley¹, L. Wathier², B. Pouyatos²

1. Département Études et assistance médicales, INRS

2. Laboratoire Ototoxicité et neurotoxicité, département Toxicologie et biométrie, INRS

EN RÉSUMÉ

Dans les années 2000, quatre groupes d'experts internationaux ont émis une classification sur la toxicité pour l'oreille (ou ototoxicité) de plusieurs familles chimiques dont les métaux : plomb, arsenic, manganèse, cadmium, mercure, étain, germanium. L'article proposé est une synthèse de ces avis renforcée par une analyse bibliographique des études publiées ultérieurement pour fournir une classification actualisée du potentiel ototoxique des métaux. Le niveau de preuve d'une ototoxicité apparaît élevé pour le plomb, le mercure, l'arsenic ; modéré pour le cadmium, le manganèse, le triméthylétain, le dioxyde de germanium, le cobalt. Un mécanisme toxique commun impliquant un stress oxydant semble se dégager. De ce travail ont été identifiées de nouvelles situations de travail pour lesquelles il existerait un risque d'ototoxicité.

MOTS CLÉS

Ototoxicité /
Évaluation des
risques / Risque
chimique / Métal /
Multi-exposition /
Audition



© Gaël Kerbaol - INRS

Si les effets du bruit sur l'audition sont connus depuis très longtemps, l'intérêt porté aux effets néfastes des produits chimiques sur l'audition reste récent. Aujourd'hui, plusieurs familles chimiques comportent des substances ayant des effets toxiques pour l'audition ou effets ototoxiques : les médicaments, les solvants, les métaux, les nitriles, les asphyxiants et les retardateurs de flamme en sont des exemples. Quatre groupes d'experts, rassemblés soit par des organismes gouvernementaux (Union Européenne – UE – ou aux États-Unis *Occupational Safety and Health Administration* – OSHA), soit au sein d'instituts de recherche (Institut Robert Sauvé en Santé et Sécurité au travail – IRSST –

au Canada) ou au sein de collaboration scientifique (*Nordic Expert Group – NEG, scandinave*), ont émis une classification de ces agents en fonction du niveau de preuve disponible sur leur potentiel ototoxique (**encadré 1 page suivante**). Toutefois, ces avis présentent des divergences. Le présent article s'intéresse à l'ototoxicité des métaux, en faisant une synthèse des avis d'experts, renforcée par une analyse des données publiées ultérieurement ; il a pour objectif de proposer une classification actualisée de leur potentiel ototoxique. Les métaux étudiés ici sont les sept identifiés par ces rapports - l'arsenic, le cadmium, le triméthylétain, le dioxyde de germanium, le manganèse, le mercure, le plomb - ainsi que le cobalt pour

↓ Encadré 1

► LES CLASSEMENTS ÉMIS PAR LES GROUPES D'EXPERTS INTERNATIONAUX ET PAR LE PRÉSENT TRAVAIL SUR L'OTOTOXICITÉ

En 2009, l'Union européenne classe l'ototoxicité de plusieurs substances selon 3 catégories [1] :

- « *Compound with good evidence of ototoxicity (confirmed ototoxic substance)* » : Composé avec de bonnes preuves d'ototoxicité (substance ototoxiques avérée).
- « *Compound with fair evidence of ototoxicity (suspected ototoxic substance)* » : Composé avec des preuves satisfaisantes d'ototoxicité (substance ototoxique suspectée).
- « *Compound with poor evidence of ototoxicity (questionably ototoxic substance)* » : Composé avec de faibles preuves d'ototoxicité (substance ototoxique incertaine).

En 2009, le NEG classe l'ototoxicité de plusieurs substances selon 3 catégories [2] :

- « *Category 1. Human data indicate auditory effects under or near existing OELs. There are also robust animal data supporting an effect on hearing from*

exposure. » : **Catégorie 1.** Les données humaines indiquent des effets auditifs pour des niveaux d'exposition inférieurs ou proches des VLEP existantes. Il existe également des données animales solides soutenant un effet de l'exposition sur l'audition.

- « *Category 2. Human data are lacking whereas animal data indicate an auditory effect under or near existing OELs.* » : **Catégorie 2.** Les données humaines font défaut alors que les données animales indiquent un effet auditif pour des niveaux d'exposition en dessous ou proches des VLEP existantes.

● « *Category 3. Human data are poor or lacking. Animal data indicate an auditory effect well above existing OELs.* » : **Catégorie 3.** Données humaines faibles ou inexistantes. Les données animales indiquent un effet sur l'audition pour des niveaux d'exposition bien supérieurs aux VLEP existantes.

En 2011, l'IRSST classe l'ototoxicité de

plusieurs substances selon 4 catégories [3] :

- « Substance ototoxique » ;
- « Substance possiblement ototoxique » ;
- « Non concluant » ;
- « Aucune preuve ».

En 2012, l'OSHA classe l'ototoxicité de plusieurs substances selon 2 catégories [4] :

- « *Ototoxic substance* » : Substance ototoxique.
- « *Limited evidence that supports the ototoxicity* » : Preuves limitées démontrant une ototoxicité.

Le présent travail classe l'ototoxicité des métaux selon 3 catégories :

- « Potentiel ototoxique avéré » lorsque le niveau de preuve d'une ototoxicité est élevé.
- « Potentiel ototoxique possible » lorsque le niveau de preuve d'une ototoxicité est modéré.
- « Potentiel ototoxique suspecté » lorsque le niveau de preuve est faible.

lequel les données de la littérature sont postérieures aux rapports d'experts pré-cités.

Cet article vise à :

- synthétiser les données publiées dans la littérature sur l'ototoxicité des métaux depuis les rapports émis par l'UE, l'OSHA, l'IRSST et le NEG ;
- évaluer le niveau de preuve disponible sur l'ototoxicité de chaque métal au regard des données identifiées ;
- proposer un classement de ces métaux en 3 catégories suivant le niveau de preuve disponible sur leur potentiel ototoxique.

On distinguera le potentiel ototoxique **avéré** lorsque le niveau de preuve est **élevé**, le potentiel ototoxique **possible** lorsque le niveau de preuve est **modéré**, et le potentiel ototoxique **suspecté** lorsque le niveau de preuve est **faible** (encadré 2).

OTOTOXICITÉ

DÉFINITION

Un agent ototoxique est une substance chimique susceptible d'induire une toxicité sur les fonctions et/ou sur les structures de l'oreille interne [1, 5]. L'OSHA considère qu'il existe trois classes d'ototoxiques : les cochléotoxiques, les vestibulotoxiques et les neurotoxiques [4].

BREFS RAPPELS PHYSIOLOGIQUES SUR L'OREILLE INTERNE

L'oreille interne comprend les organes de l'audition (cochlée) et de l'équilibre (vestibule) (figure 1). La cochlée est formée d'un canal osseux en forme de colimaçon dans lequel se trouvent les tissus sensoriels et les liquides permettant la transduction des ondes sonores

en signaux électriques. Elle est divisée en 3 rampes : les rampes vestibulaire et tympanique qui contiennent la périlymphe et la rampe médiane, ou canal cochléaire, qui renferme l'endolymphe. Le canal cochléaire est tapissé par l'épithélium sensoriel de l'audition : l'organe de Corti (figure 2). Les cellules sensorielles de l'organe de Corti sont les cellules ciliées internes (CCI) et externes (CCE). Leur extrémité apicale est piquée de rangées de stéréocils enchassés dans la membrane tectoriale, tandis que leur base est soutenue par des cellules de soutien qui rendent les CCE solidaires à la membrane basilaire. Lorsqu'un son est capté par l'oreille, les vibrations sonores se propagent du tympan jusqu'à la fenêtre ovale via les osselets de l'oreille moyenne qui transduit et amplifie la pression acoustique en pression mécanique.

► MÉTHODE UTILISÉE DANS CE TRAVAIL POUR CLASSER L'OTOTOXICITÉ DES MÉTAUX

Les classements sur l'ototoxicité émis par les quatre groupes d'experts internationaux (UE, OSHA, IRSST, NEG) ont été analysés et une mise à jour des données bibliographiques publiées ultérieurement a été réalisée. La recherche bibliographique a été faite entre avril et mai 2020 sur PubMed (base Medline) avec les mots « *ototox** », « *hearing loss* », « *vestibul** », « *vertig** » suivi du nom de la substance en mots libres (seul le MeSH term « *lead* » a été utilisé) et en filtrant les articles publiés depuis 2008 (soit un an avant la date de publication du plus ancien des rapports). Les publications identifiées à partir de ces études ont également été analysées. Au total, près de 80 études ont été retenues pour analyse, sur près de 250 références identifiées dans PubMed (redondances incluses). À partir de ces données, le niveau de preuve a été évalué en suivant une méthode proche

de celle utilisée par l'UE et l'IRSST :

- pour chaque substance, les données animales et humaines ont été recueillies et analysées, en privilégiant les données humaines ;
- la qualité méthodologique des études a été prise en compte (type d'étude, taille de l'échantillon, présence de biais...) ainsi que la cohérence des résultats (ampleur de l'effet, nombre d'études rapportant le même effet...);
- le niveau d'exposition à partir duquel l'ototoxicité est observée a été pris en compte.

Ainsi, lorsqu'il existait des données mécanistiques, animales et humaines robustes indiquant une ototoxicité pour des niveaux d'exposition observables en milieu environnemental ou professionnel, le niveau de preuve a été jugé élevé et le potentiel ototoxique avéré. En revanche,

lorsqu'il existait des données mécanistiques et animales robustes indiquant une ototoxicité, mais que les données humaines étaient limitées et/ou indiquaient une ototoxicité pour un niveau d'exposition très élevé par rapport au niveau observable en milieu environnemental ou professionnel ou que la relation dose-réponse était difficile à mettre en évidence, le niveau de preuve a été jugé modéré et le potentiel ototoxique possible.

Seuls les métaux figurant dans les classements des groupes d'experts internationaux (UE, OSHA, IRSST, NEG) ont été étudiés à savoir l'arsenic, le cadmium, le dioxyde de germanium, le manganèse, le mercure, le plomb, le triméthylétain, ainsi que le cobalt dont les effets ototoxiques apparaissent dans la littérature depuis la publication de ces rapports.

Figure 1 : Représentation schématique de la cochlée et du vestibule (d'après [6]).

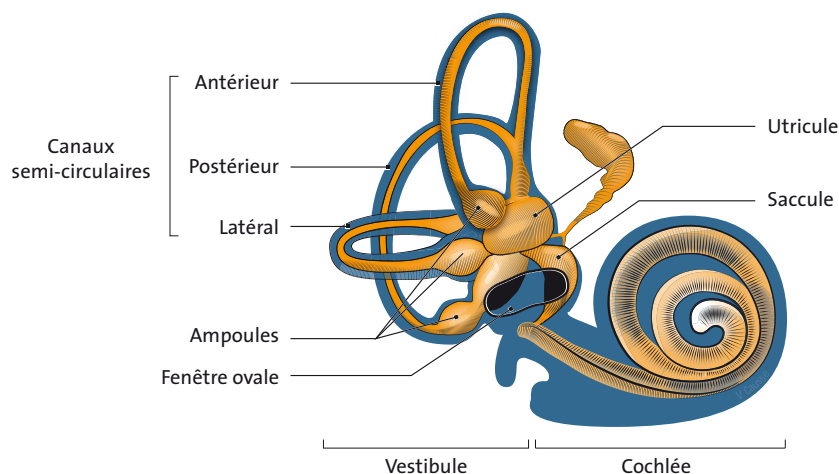
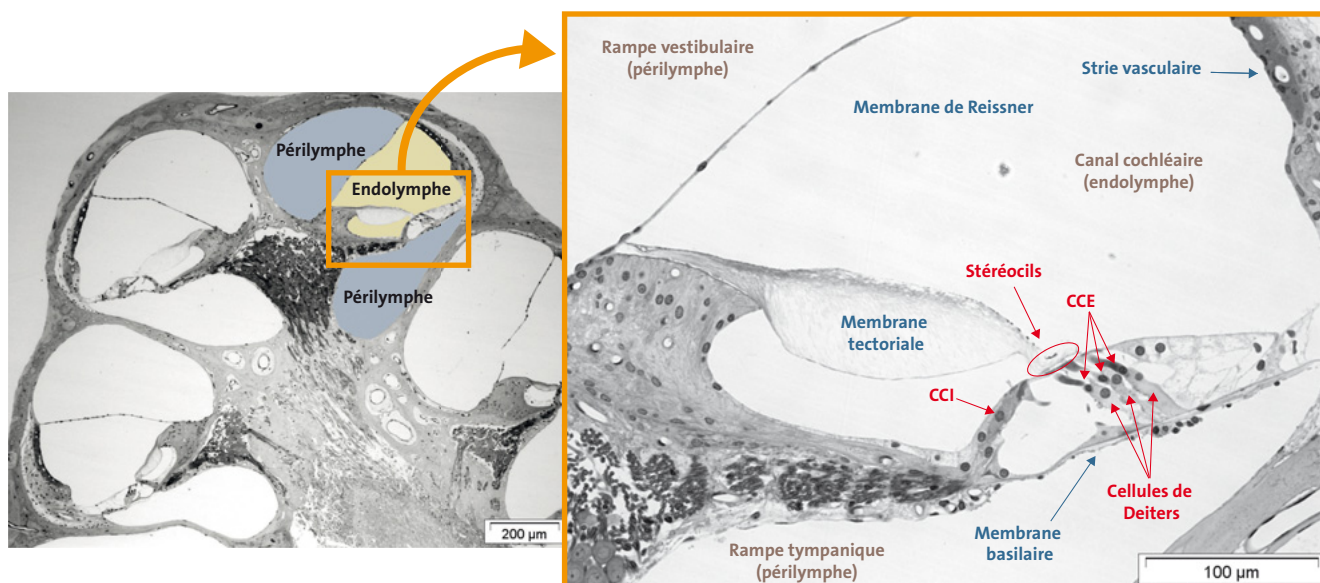


Figure 2 : Coupe axiale de cochlée vue en microscopie optique montrant la position de l'organe de Corti entre les trois rampes.



CCI : cellules ciliées internes. CCE : cellules ciliées externes. (G x 200, source INRS).

La pression générée met alors la périlymphe en mouvement, ce qui va provoquer des oscillations de la membrane basilaire entraînant un mouvement de cisaillement des stéréocils des CCE. Ce cisaillement entraîne l'ouverture et la fermeture de canaux ioniques présents à l'apex des stéréocils. L'ouverture de ces canaux permet au potassium de pénétrer dans les CCE tout en dépolarisant leur membrane plasmique. La présence de prestine et d'actine, fibres de protéines contractiles, le long de la membrane plasmique, permettra une oscillation des cellules en phase avec la fréquence de stimulation acoustique. Ces oscillations très localisées vont entrer en résonance avec le mouvement de la membrane basilaire, ce qui va amplifier la vibration initiale et discriminer l'information délivrée aux CCI. Le traitement du signal est dit « tonotopique », les hautes fréquences stimulent les CCE à la base de la cochlée, tandis que l'apex traite l'information provenant des basses fréquences. Enfin, les CCI transmettent le signal électrique au nerf auditif. Il sera ensuite traité par les voies auditives centrales pour parvenir *in fine* jusqu'au cortex auditif. Les cellules ciliées ne sont pas renouvelables, leur mort conduit à des pertes d'audition.

Le récepteur vestibulaire ou vestibule, également situé dans l'oreille interne, est l'organe périphérique de l'équilibre. Le système vestibulaire échange des informations avec les systèmes visuel et proprioceptif pour maintenir l'équilibre du corps dans l'espace. Le vestibule est composé de cinq structures sensorielles : deux organes otolithiques (sacculé et utricule) qui détectent les accélérations linéaires de la tête, et trois canaux semi-circulaires (latéral, postérieur et antérieur) qui détectent les accélérations angulaires

de la tête. Chacune de ces structures est tapissée d'un épithélium neurosensoriel (la macula pour les organes otolithiques, la crête ampullaire pour les canaux semi-circulaires). Ces épithéliums sensoriels vestibulaires sont composés de cellules ciliées qui détectent les mouvements de la tête et envoient ces informations au système nerveux central *via* la branche vestibulaire du nerf VIII (cochléovestibulaire). Après traitement de l'information vestibulaire et coordination avec les informations visuelles et somesthésiques, deux réflexes sont mis en jeu pour maintenir la posture et stabiliser le regard durant le mouvement de la tête par des actions motrices : le réflexe vestibulo-spinal et le réflexe vestibulo-oculaire [5].

MÉTHODES UTILISÉES POUR EXPLORER L'OREILLE INTERNE

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour explorer le fonctionnement du système auditif ou vestibulaire.

EXPLORATION DU SYSTÈME VESTIBULAIRE

Chez l'homme, il existe de nombreuses méthodes permettant d'explorer le fonctionnement du système vestibulaire. L'interrogatoire et l'examen clinique permettent de rechercher des symptômes ou des signes révélateurs de troubles de l'équilibre comme des vertiges, une instabilité ou encore un nystagmus. De plus, de nombreux tests ont été développés pour localiser les atteintes du système vestibulaire à l'aide d'une instrumentation plus ou moins lourde. Il s'agit par exemple des épreuves caloriques permettant de stimuler les ampoules des canaux semi-circulaires horizontaux ; ou des tests oculomoteurs permettant d'évaluer

le fonctionnement des réflexes mis en jeu pour maintenir la posture et stabiliser le regard durant le mouvement de la tête. Certains de ces tests peuvent être réalisés chez l'animal pour lequel d'autres tests neuro-comportementaux spécifiques existent également.

EXPLORATION DU SYSTÈME AUDITIF

Audiométrie

Cet examen réalisable chez l'homme renseigne sur l'atteinte auditive mais pas sur son origine.

Audiométrie tonale. C'est l'examen utilisé en pratique courante pour évaluer le seuil auditif. Il s'agit de mesurer l'intensité à partir de laquelle un son est perçu. Les sons sont appliqués au niveau de chaque oreille à différentes intensités sonores. Le sujet doit signaler dès qu'il entend le son. L'examen peut être réalisé par voie aérienne ou osseuse. Les fréquences testées couvrent généralement le spectre de la parole : 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 et 8000 Hertz (Hz). L'audiométrie dite « hautes fréquences » inclut, quant à elle, les fréquences de 9 à 20 kHz [1, 5].

Audiométrie vocale. Il s'agit de déterminer le seuil d'intelligibilité de la parole et de discrimination des phonèmes pour chaque oreille. Les conditions de réalisation sont comparables à celles de l'audiométrie tonale, mais les stimulations utilisées sont des mots, des phonèmes ou des phrases [1].

Oto-émissions acoustiques évoquées

Les oto-émissions acoustiques évoquées (OAE) peuvent être enregistrées chez l'animal et chez l'homme, à l'aide d'un petit microphone placé à l'intérieur du conduit auditif externe. Les OAE sont émises

par les CCE en réponse à un signal sonore. Il existe deux grands types de mesures : les oto-émissions acoustiques évoquées transitoires (TEOAE) émises en réponse à des *stimuli* (clic) de larges bandes de fréquences et les produits de distorsion des oto-émissions acoustiques (DPOAE) qui permettent la discrimination par fréquence.

Potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral

Les potentiels évoqués auditifs (PEA) (en anglais, *auditory brainstem response* ou ABR) correspondent à l'activité électrique du système nerveux central générée par des *stimuli* acoustiques. Ils peuvent être enregistrés chez l'animal et chez l'homme par des électrodes placées sur la tête. Une succession de clics est appliquée dans l'une des oreilles, tandis que l'autre oreille est masquée par un bruit blanc. Chaque oreille est testée séparément. La réponse générée se compose d'ondes qui correspondent aux relais anatomiques sur les voies auditives. Une modification de ces ondes peut indiquer une lésion de l'oreille moyenne, de la cochlée, du nerf auditif ou des voies centrales [1, 5].

RÉSULTATS DE L'ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Les résultats sont présentés pour chaque métal dans l'ordre alphabétique, en commençant par une synthèse des avis émis par les groupes d'experts internationaux, suivie d'une analyse des données publiées depuis ces rapports (chez l'homme, chez l'animal, sur le mécanisme d'action, éventuellement sur une coexposition et sur la vestibulotoxicité). Une conclusion a été tirée à partir de ces différents éléments

sur le niveau de preuve d'une éventuelle ototoxicité et sur le potentiel ototoxique. Les résultats sont présentés en **annexe 1** (pp. 30-31) sous la forme d'un tableau synoptique.

ARSENIC

L'arsenic (As) et ses composés minéraux ont de nombreuses applications industrielles : métallurgie, verre, microcomposants électroniques, insecticides, raticides, herbicides, fongicides, colorants, emballage d'animaux, tannerie, médicament humain ou vétérinaire... L'alimentation, surtout la consommation de produits de la mer, peut aussi être une source d'exposition de la population générale [7, 8].

CLASSEMENT OTOTOXIQUE ÉMIS PAR LES GROUPES D'EXPERTS INTERNATIONAUX

L'UE classe l'As comme ototoxique suspecté jugeant les données acceptables et l'OSHA jugeant les données limitées. Ce classement repose notamment sur une étude menée auprès d'enfants vivant dans une zone hautement contaminée par l'As et présentant un seuil auditif plus élevé (surtout sur les basses fréquences) que des enfants non exposés (taux moyen dans les cheveux de l'ordre de 0,3-3,8 µg/g vs 0,15 µg/g) [Bencko 1977 cité dans [1]]. Le classement repose aussi sur des études animales qui ont montré des dommages de l'organe de Corti et de la strie vasculaire après une exposition à l'arsenilate de sodium ou à des dérivés acétylés [Anniko 1976 et Miller 1985 cités dans [1]]. Chez le cochon d'Inde, les effets sur l'organe de Corti s'observent à partir de 20 mg/kg (injection sous-cutanée) avec une plus grande sensibilité des CCE à l'apex de la cochlée [Anniko 1976 cité dans [1]]. L'IRSST et le NEG n'ont pas évalué l'ototoxicité de l'As.

ANALYSE DES ÉTUDES PUBLIÉES DEPUIS CES RAPPORTS D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Chez l'homme

L'exposition à l'As, qu'elle soit environnementale ou professionnelle, est associée à des pertes d'audition objectivées par questionnaire, audiométrie ou mesure des DPOAE [9 à 11]. La littérature ne montre pas de relation évidente entre l'arsenic sanguin ou urinaire et les pertes auditives [11 à 14]. En revanche, il est retrouvé une relation entre les concentrations d'As dans les ongles (1,4-1,6 µg/g) ou dans les cheveux (0,5 µg/g) et l'élévation du seuil audiométrique [15, 16], ainsi qu'avec les baisses des DPOAE (pour des concentrations dans les ongles de 0,06 µg/g) [17]. Ces niveaux d'exposition sont de l'ordre de ceux observés en population générale (où la concentration dans les ongles est généralement inférieure à 1 µg/g et dans les cheveux à 0,03 µg/g) [18]. À noter cependant les limites de ce biomarqueur (grandes variations interindividuelles et possibilité de contamination). Il est pertinent seulement lorsque l'absorption est digestive ou parentérale [18].

Chez l'animal/mécanismes

Chez la souris, l'administration orale *via* l'eau de boisson d'arsénite de sodium (22,5 mg/L) entraîne une élévation du seuil auditif ainsi qu'une augmentation du taux d'As dans les liquides de l'oreille interne. Le taux d'As dans l'oreille interne est corrélé au taux retrouvé dans les griffes [16, 19]. *Ex vivo*, l'exposition pendant 48 à 72 h de l'organe de Corti en culture à 0,3 µg/mL d'As entraîne des lésions du ganglion spiral et des fibres auditives [16, 19]. Aucune étude n'a été identifiée sur les effets de l'As sur le système vestibulaire ou sur les effets

ototoxiques d'une coexposition à d'autres métaux ou au bruit.

CONCLUSION

Seuls l'UE et l'OSHA ont évalué l'ototoxicité de l'As et suspecté un potentiel ototoxique. Les études publiées depuis renforcent surtout les données humaines avec la mise en évidence d'une association entre le taux d'As dans les phanères et des pertes d'audition ou des anomalies des DPOAE pour des concentrations qui reflètent celles trouvées dans des expositions environnementales ou professionnelles. De nouvelles études *ex vivo* montrent aussi que l'As peut altérer les fibres du nerf auditif et les neurones du ganglion spiral (SGN), en plus de la strie vasculaire et de l'organe de Corti. Au regard de l'ensemble de ces données, **le niveau de preuve sur l'ototoxicité de l'As est jugé élevé.**

CADMIUM

L'utilisation du cadmium (Cd) est aujourd'hui strictement réglementée en Europe. Elle est restreinte notamment pour la coloration des matières plastiques et peintures, la stabilisation des (co)polymères du chlorure de vinyle, le cadmiage des métaux, la fabrication de bijoux et de métaux d'apport pour le brasage fort. Son utilisation reste possible dans certains secteurs où elle est techniquement indispensable : aéronautique, aérospatiale, exploitation minière, nucléaire, défense et fabrication des contacts électriques. La principale source d'exposition pour la population générale est l'alimentation, surtout la consommation de fruits de mer et d'abats [8, 20].

CLASSEMENT OTOTOXIQUE ÉMIS PAR LES GROUPES D'EXPERTS INTERNATIONAUX

L'UE classe le Cd comme ototoxique suspecté jugeant les données ac-

ceptables tandis que l'OSHA juge les données limitées. Ce classement repose notamment sur une étude ayant montré que des rats exposés par voie orale (eau de boisson) à du chlorure de Cd pendant 30 jours développent une perte auditive dès 5 ppm et une altération des DPOAE et du test ABR au-delà de 15 ppm, signant une atteinte de la cochlée et des voies auditives [Ozcaglar 2001 cité dans [1]]. Cette exposition s'accompagne d'une accumulation de Cd dans les osselets et le labyrinthe.

ANALYSE DES ÉTUDES PUBLIÉES DEPUIS CES RAPPORTS D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Chez l'homme

L'exposition au Cd provoque des pertes d'audition [21 à 23], mais les résultats des études ne montrent pas toujours de relation dose-effet. Les pertes d'audition objectivées par audiométrie semblent proportionnelles à la concentration sanguine de Cd lorsque le niveau d'exposition est suffisamment élevé (0,80 à 8,50 µg/L) [13, 24, 25]. Ces niveaux d'exposition sont élevés par rapport à ceux généralement mesurés en population générale, de l'ordre de 0,7 µg/L chez les non-fumeurs, 3 µg/L chez les fumeurs et en milieu professionnel où la valeur limite biologique est inférieure à 4 µg/L [26]. La seule étude analysée qui établit une relation entre la concentration urinaire de Cd et des pertes d'audition [14] décrit un niveau d'exposition plus faible que les études qui ne retrouvent pas de relation [27 à 29].

Chez l'animal/mécanismes

Chez la souris, l'exposition au Cd à partir de 150 mg/L (eau de boisson) entraîne une élévation du seuil des ABR dans les fréquences élevées (32 kHz) [30].

In vitro, l'exposition au Cd peut induire de manière dose-dépendante la mort des cellules ciliées, voire des cellules de soutien [30 à 35]. Ce phénomène est également observé chez le *zebrafish* [36]. La toxicité s'étend de la base vers l'apex avec l'augmentation de la concentration et touche également les SGN. Le premier effet observé est une désorganisation des cellules ciliées évoquant une interruption des jonctions entre les cellules ciliées et les cellules de soutien [34]. Dans la cellule, l'exposition au Cd induit un stress oxydant, perturbant certaines voies de signalisation (comme les *Extracellular signal-regulated Kinases* – ERK) et l'activité des métalloprotéinases de la matrice, résultant *in fine* l'apoptose [30, 31, 33]. Plusieurs antioxydants protègent contre l'ototoxicité du Cd *in vitro* en empêchant l'activation des ERK et des caspases [30, 31]. Les canaux de mécanotransduction pourraient être une voie d'entrée du Cd dans la cellule comme cela a été montré pour d'autres agents ototoxiques (ex : aminoglycosides). Chez le *zebrafish*, le blocage de l'activité de mécanotransduction des cellules ciliées par un composé chimique, ou par une mutation génique, diminue la cytotoxicité du Cd. Il n'existe pas de transporteur spécifique permettant au Cd de rentrer dans la cellule ciliée, mais des études menées sur d'autres types cellulaires ont montré que le Cd pourrait aussi utiliser les transporteurs du zinc ou du fer [36]. Aucune étude sur les effets du Cd sur le système vestibulaire n'a été identifiée.

Coexposition

Une potentialisation des effets ototoxiques du Cd par le furosémide (élévation du seuil ABR et perte des cellules ciliées) est décrite chez le rat après injection intrapéritonéale

pendant 7 jours de 5 mg/kg de chlorure de Cd et de 200 mg/kg de furo-sémide [Withworth 1999 cité dans [22]].

CONCLUSION

Seuls l'UE et l'OSHA ont évalué l'ototoxicité du Cd et ont suspecté un potentiel ototoxique. Les études publiées depuis ces avis précisent surtout le mécanisme d'action. Les cellules ciliées et les cellules nerveuses du système auditif périphérique apparaissent plus sensibles que les voies auditives centrales, avec une sensibilité croissante de la base de la cochlée vers l'apex. De plus, le Cd induit un stress oxydant, il perturbe certaines voies de signalisation et induit la mort cellulaire en partie *via* l'apoptose. Chez l'homme, les résultats sont plus disparates. Certains d'entre eux envisagent un potentiel ototoxique du Cd à des niveaux d'exposition environnementaux. Au regard de l'ensemble de ces données, **le niveau de preuve sur l'ototoxicité du Cd est jugé modéré.**

COBALT

Le cobalt (Co) et ses composés sont utilisés pour la fabrication d'alliages résistants (aimants, prothèses, métaux frittés, aciers spéciaux), d'électrodes pour accumulateur, lors de l'émaillage du fer et de l'acier ou encore dans la galvanoplastie. Ils se retrouvent dans la composition de nombreux produits : siccatifs, pigments, catalyseurs, fertilisants, additifs alimentaires pour animaux [37]. L'exposition *via* l'alimentation reste généralement limitée.

Aucun classement ototoxique émis par les groupes d'experts internationaux

ANALYSE DES ÉTUDES PUBLIÉES DEPUIS CES RAPPORTS D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Chez l'homme

Plusieurs études de cas « *case reports* » décrivent une prévalence accrue de troubles auditifs (perte d'audition, acouphènes) et/ou vestibulaires chez des patients possédant une prothèse contenant du Co [21, 38 à 40]. La mise en évidence d'une relation dose-effet est suggérée par l'étude de Jelsma et al. [41] dans laquelle les symptômes oculo-vestibulaires sont plus fréquents chez les patients ayant une concentration sanguine élevée en Co. Dans une revue de la littérature, des troubles de l'audition ont été décrits pour des niveaux d'exposition de l'ordre de 820 à 2 100 µg/L [42]. Ces niveaux d'exposition sont nettement supérieurs à ceux généralement observés en population générale (95^e percentile de la concentration sanguine de cobalt < 0,45 µg/L chez l'homme et < 0,62 µg/L chez la femme [43]).

Chez l'animal/mécanismes

Chez l'animal (lapin et rat), le Co entraîne des troubles de l'audition, les dommages ciblent préférentiellement les cellules ciliées (surtout les CCE) de la base de la cochlée et les SGN. La mort cellulaire se fait par apoptose déclenchée par un stress oxydatif [44]. En effet, *in vivo* et *in vitro*, le Co augmente la quantité d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans la cochlée, ainsi que l'expression de marqueurs et cytokines proinflammatoires [45]. Chez la souris, une étude menée *in vitro* sur des lignées cellulaires, confirmée par une étude *in vivo*, montre que l'exposition au Co à faibles doses peut augmenter l'expression de protéines impliquées dans la réponse antioxydante et/ou hypoxique et limiter les pertes d'audition induites par le bruit [46, 47]. Aucune étude sur les effets ototoxiques d'une coexposition à d'autres métaux ou au bruit n'a été identifiée.

CONCLUSION

Aucune classification n'a été émise sur l'ototoxicité du Co. Des publications postérieures à 2008 décrivent chez l'homme une recrudescence de symptômes auditifs et vestibulaires après exposition professionnelle à des niveaux très élevés ou *via* l'implantation de certaines prothèses. Des études animales renforcent l'idée d'une cytotoxicité du Co sur l'oreille interne, en particulier sur les CCE de la base de la cochlée et les SGN. Au regard de l'ensemble de ces données, **le niveau de preuve sur l'ototoxicité du cobalt est jugé modéré.**

DIOXYDE DE GERMANIUM

Le germanium est utilisé dans divers secteurs : industries électronique (semi-conducteur, panneaux solaires, systèmes infrarouges, de détection ou de fibre optique), chimique (catalyseur de polymérisation) et pharmacologique. Le germanium constitue un polluant majeur de l'industrie du cuir et de la combustion du charbon. En population générale, l'alimentation quotidienne constitue la principale source d'exposition [8].

CLASSEMENT OTOTOXIQUE ÉMIS PAR LES GROUPES D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Le dioxyde de germanium (GeO₂) a été classé par l'UE comme ototoxique confirmé jugeant les données robustes et par l'OSHA comme ototoxique. Ce classement repose sur des études animales montrant que l'exposition orale chez le rat (100 mg/kg/j pendant 4 semaines *via* l'eau de boisson) et chez le cochon d'Inde (0,5 % de la nourriture pendant 2 mois) induit des troubles de l'audition, une dégénérescence de la strie vasculaire et des cellules de soutien, ainsi qu'une altération des ABR [Yamasoba 2006 et Lin 2009 cité dans [1]]. L'IRSST et le NEG

n'ont pas évalué l'ototoxicité du GeO₂.

ANALYSE DES ÉTUDES PUBLIÉES DEPUIS CES RAPPORTS D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Il n'a pas été trouvé d'étude.

CONCLUSION

Seuls l'UE et l'OSHA ont évalué l'ototoxicité du GeO₂ et l'ont classé comme ototoxique à partir de données obtenues chez l'animal. En effet, le GeO₂ induit des troubles de l'audition, une dégénérescence de la strie vasculaire et des cellules de soutien, ainsi qu'une altération de la transmission neuronale au niveau du tronc cérébral. Toutefois, aucune étude récente ne renforce ces suspicions. Au regard de l'ensemble de ces données, **le niveau de preuve sur l'ototoxicité du GeO₂ est jugé modéré.**

MANGANÈSE

Le manganèse (Mn) est principalement utilisé dans la métallurgie comme agent désoxydant et désulfurant, dans la préparation d'alliage (aciers) et dans la soudure à l'arc. Le dioxyde de manganèse est surtout utilisé comme matière première (métal, alliage), constituant de piles et d'électrodes de soudage, oxydant, pigment, siccatif (peintures, vernis). L'alimentation est la principale source d'exposition en population générale [8, 49].

CLASSEMENT OTOTOXIQUE ÉMIS PAR LES GROUPES D'EXPERTS INTERNATIONAUX

L'UE classe le Mn comme ototoxique suspecté jugeant les données insuffisantes alors que l'OSHA juge les données limitées. L'avis de l'UE repose sur deux études de cohorte menées par la même équipe rapportant des troubles de l'audition chez des travailleurs exposés (de façon aiguë ou chronique), sans que

le niveau d'exposition soit systématiquement précisé [Nikolov 1974 cité dans [1]]. L'IRSSST et le NEG n'ont pas évalué l'ototoxicité du Mn.

ANALYSE DES ÉTUDES PUBLIÉES DEPUIS CES RAPPORTS D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Chez l'homme

Des troubles auditifs ont été décrits chez des travailleurs exposés à des taux élevés de Mn (soudeurs, fondeurs) ou chez des personnes consommant l'eau de puits contaminée. Néanmoins, l'interprétation de ces observations est difficile du fait de facteurs confondants pouvant induire des troubles de l'audition [21, 50]. Toutefois, d'autres études ont montré que le taux de Mn dans les ongles (médiane à 3,4 µg/g) était associé à la diminution des DPOAE à 3 kHz [17] et à des pertes d'audition dans les hautes fréquences (concentration moyenne de 7,3 µg/g) [51]. Chez les travailleurs en aciérie, aucune relation entre le taux de Mn sanguin (de l'ordre de 15 µg/L) et les pertes d'audition n'a été retrouvée [13].

Chez l'animal/mécanismes

L'administration de Mn (par voie orale *via* l'eau de boisson) accélère la perte d'audition liée à l'âge chez la souris dès 1,65 mg/L (dégénérescence des SGN) [52]. Aussi chez la souris, il a été montré que le taux de Mn dans les griffes est corrélé au taux de Mn dans l'oreille interne [51]. Chez l'animal, le Mn administré par voie orale (eau de boisson) ou par injection sous cutanée s'accumule dans la cochlée et peut persister plusieurs semaines [53]. Une accumulation de Mn dans les noyaux auditifs centraux est également rapportée [Mullin 2015 cité dans [54]]. *Ex vivo*, quelques micromolaires de Mn engendrent des lésions de l'oreille interne dont l'ampleur est propor-

tionnelle à la dose administrée et au temps [21, 54, 55]. Les SGN présentent une plus grande sensibilité que les cellules ciliées, les CCI ont une sensibilité supérieure à celles des CCE et les CCE de la base sont plus sensibles que celles de l'apex [56]. La mort cellulaire relève notamment de l'apoptose *via* l'induction d'un stress oxydant, l'activation de voies de signalisation (JNK, MAP kinases...) et vraisemblablement d'altérations de la fonction mitochondriale. Certaines molécules antioxydantes (ex : N-acétyl-cystéine) montrent un effet protecteur sur l'ototoxicité du Mn [55, 57]. Aucune étude sur les effets du Mn sur le système vestibulaire n'a été identifiée.

Coexposition

Chez la souris, il n'a pas été trouvé d'effet conjoint du Mn et du bruit sur l'audition (DPOAE, ABR, histologie) après administration orale de 10 mg/L [54]. Inversement, chez le lapin, les effets du bruit (110 dB, 8h/jour pendant 12 jours) sur l'audition (DPOAE) sont potentialisés en cas de coexposition avec des fumées de soudage contenant des taux élevés de Mn [Mirzaee 2007 cité dans [54]].

CONCLUSION

Seuls l'UE et l'OSHA ont évalué l'ototoxicité du Mn, jugeant les données insuffisantes ou limitées. Les données publiées postérieurement précisent le mécanisme d'action. Chez l'animal, le Mn ciblerait le système auditif périphérique, en particulier les cellules ciliées et le ganglion spiral, *via* l'induction d'un stress oxydant menant à l'apoptose. Chez l'homme, certaines études suggèrent une association entre le taux de Mn dans les ongles et une toxicité cochléaire avec troubles auditifs prédominant sur les hautes fréquences. Mais il est difficile de rattacher ces effets à une exposition au Mn à des niveaux environnemen-

taux ou professionnels. Au regard de l'ensemble de ces données, **le niveau de preuve sur l'ototoxicité du Mn est jugé modéré.**

MERCURE

Le mercure (Hg) se retrouve principalement dans l'industrie chimique pour l'électrolyse (cathode liquide) ou la synthèse de dérivés minéraux ou organiques, dans l'industrie électrique (piles, lampes, tubes fluorescents), l'extraction de métaux précieux (or, argent) et la dentisterie (amalgames). Les composés minéraux sont utilisés comme composants de piles sèches ou électrolytes pour accumulateurs, électrodes, catalyseurs, intermédiaires pour la fabrication de dérivés organo-mercuriels, réactifs de laboratoire ou pigments. En population générale, les principales sources d'exposition sont l'alimentation (surtout les gros poissons, forme organique) et les amalgames dentaires (forme inorganique) [8, 58].

CLASSEMENT OTOTOXIQUE ÉMIS PAR LES GROUPES D'EXPERTS INTERNATIONAUX

L'UE, l'OSHA et le NEG classent le Hg comme ototoxique, seul l'IRSST considère les données insuffisantes. Cette différence semble tenir au *corpus* d'études analysées, celui-ci semble plus grand chez les groupes d'experts qui ont classé le Hg comme ototoxique. Pour les composés inorganiques du Hg, deux études chez l'homme présentent des résultats contradictoires (test ABR) pour des niveaux d'exposition proches (325-350 mg/g de créatinine) [3]. Une autre étude décrit une altération des PEA pour des niveaux d'exposition de l'ordre de 0,008 mg/m³ [2]. Chez le rat, il n'est pas retrouvé d'effet ototoxique (test ABR) après une exposition orale chronique (HgCl₂ 0,4-1,6 mg/kg administré par gavage sur 12 semaines) [59]. Pour

les composés alkylés, deux études chez l'homme (exposition environnementale) décrivent des pertes auditives mais il est difficile de les rattacher à l'exposition au Hg du fait de la non prise en compte des variables confondantes [3]. Chez le singe, l'ingestion de chlorure de méthylmercure (10 µg/kg/j pendant la gestation et 4 années *post-partum*) est associée à une diminution du seuil auditif (LOAEL) [Rice 1998 cité dans [2]]. Pour le mercure vapeur, deux études chez les travailleurs rapportent une altération du test ABR pour un niveau d'imprégnation de 142-597 mg de créatinine dans l'une et pour un niveau d'exposition de 0,008 mg/m³ dans l'autre [3]. Ce niveau d'exposition est de l'ordre de celui observable en milieu professionnel : en France, la valeur limite d'exposition professionnelle moyennée sur 8h varie selon les composés du mercure entre 0,01 et 0,1 mg/m³ [60].

ANALYSE DES ÉTUDES PUBLIÉES DEPUIS CES RAPPORTS D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Chez l'homme

Trois études de cohorte rapportent une prévalence plus élevée de pertes auditives chez des personnes exposées au Hg par différents modes d'exposition, soit professionnel [61], soit alimentaire [62], soit iatrogène *via* des amalgames dentaires [63]. En revanche, à des taux d'exposition plus faibles, trois autres études prenant en compte l'exposition de la population générale [14, 25] ou plus précisément d'habitants de zones proches d'une mine d'or [17] ne retrouvent pas de relation. De plus, les études incluant la mesure des otoémissions acoustiques ne mettent pas en évidence de relation avec l'exposition environnementale au Hg (concentration médiane dans les

cheveux 10,91 µg/g ; dans les ongles 0,31 µg/g) [17, 64].

Chez l'animal/mécanismes

Les travaux d'une équipe taïwanaise suggèrent le rôle du stress oxydant et de l'inhibition de la Na-K-ATPase dans l'ototoxicité du méthylmercure, du cinabre et du chlorure de Hg [65 à 67]. Chez le rongeur, l'exposition au Hg, sous forme de méthylmercure et chlorure de Hg lors du développement, perturbe les résultats des tests ABR, de l'équilibre moteur et des DPOAE avec une accélération de la presbycusie [67, 68]. *In vitro*, le Hg est capable de perturber le flux de potassium des CCE de façon dose-dépendante [Liang 2003 cité dans [21]] ce qui perturbe le potentiel de repos membranaire, mais les concentrations étudiées sont supérieures à celles observées *in vivo* (1,0 - 100 mmol/L). Les dommages les plus précoces et les plus sévères de l'épithélium sensoriel se situent au niveau de l'apex [Anniko 1978 cité dans [21]].

Aucune étude n'a été identifiée sur les effets du Hg sur le système vestibulaire ou sur les effets ototoxiques d'une coexposition à d'autres métaux ou au bruit.

CONCLUSION

L'OSHA, l'UE et le NEG s'accordent pour classer le Hg comme ototoxique, seul l'IRSST juge les données non concluantes. Depuis la date de publication de ces rapports, les études publiées apportent des arguments supplémentaires en faveur d'une relation entre les pertes d'audition et l'exposition au Hg professionnelle ou iatrogène *via* des amalgames dentaires. Des études menées chez l'animal précisent aussi les cibles du Hg à savoir les CCE et soulignent le rôle du stress oxydant et du dysfonctionnement de la Na-K-ATPase. Au regard de l'ensemble de ces don-

nées, **le niveau de preuve sur l'ototoxicité du Hg est jugé élevé.**

PLOMB

Le plomb (Pb) et ses composés sont présents dans divers secteurs d'activités : fabrication et réparation d'accumulateurs au Pb, récupération de batteries ou vieux métaux, fabrication d'alliages, fabrication et application d'émaux et frittés au Pb, fabrication et restauration de vitraux, ébarbage et polissage d'objets contenant du Pb, brasage étain-Pb, fabrication et utilisation de pigments au Pb, intervention sur des peintures ou matériaux contenant du Pb, traitements de surface, fabrication de verre, de munitions, de blindage, gainage de câbles électriques et protection contre les rayonnements ionisants. En population générale, les principales sources d'exposition sont l'eau de boisson (selon le réseau de distribution et l'acidité de l'eau), l'alimentation (généralement limitée) et les poussières (selon l'activité industrielle de proximité) [8, 69].

CLASSEMENT OTOTOXIQUE ÉMIS PAR LES GROUPES D'EXPERTS INTERNATIONAUX

L'UE, l'OSHA, l'IRSST et le NEG s'accordent pour classer le Pb comme ototoxique. Ce classement repose sur des études humaines (travailleurs, enfants) et animales (singe) dans lesquelles l'exposition chronique au Pb est associée à des troubles de l'audition de façon dose-dépendante. Chez le singe, une concentration de 35-40 µg/dL est sans effet, alors qu'une concentration de 55 µg/dL perturbe significativement les PEA [Lasky 2001 et Lisen-thal 1996 cités dans [2]]. En milieu professionnel, des plombémies de 28 à 57 µg/dL (valeur pondérée sur la durée d'une vie) sont associées à des troubles de l'audition [2]. Peu

d'études se sont intéressées à l'interaction entre l'exposition au Pb et au bruit. L'étude de Wu et al., menée en milieu professionnel (fabrication de batterie plomb), n'a pas mis en évidence de relation entre la plombémie de l'ordre de 57 µg/dL et les pertes auditives [Wu 2000 cité dans [2]].

ANALYSE DES ÉTUDES PUBLIÉES DEPUIS CES RAPPORTS D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Chez l'homme

Plusieurs études menées aux États-Unis auprès d'échantillons représentatifs de la population générale montrent une relation entre la concentration de Pb osseuse (22,5 µg/g et 32,5 µg/g en moyenne dans l'os trabéculaire et cortical, respectivement) ou la plombémie (au-delà d'environ 2 µg/dL) et le seuil auditif, surtout dans les hautes fréquences [14, 24, 70]. De même, trois études menées en Corée du Sud mettent en relation la plombémie (autour de 2-2,5 µg/dL) et les pertes d'audition localisées aussi dans les hautes fréquences, avec une relation dose-réponse [25, 71, 72]. Une autre étude, menée auprès de personnes âgées de 9 à 78 ans vivant à proximité d'une mine d'or, met en évidence une relation entre la concentration dans les ongles (3,93 µg/g) et l'amplitude des DPOAE à 3-4 kHz [17]. Enfin, une étude de cohorte menée dans une aciérie (exposition au Mn, Cu, Zn, As, Cd, Pb), montre que le Pb est le seul métal dosé pour lequel il est retrouvé une corrélation entre la concentration sanguine (≥ 7 µg/dL) et les pertes d'audition (de 3 à 8 kHz) [13].

Chez l'animal/mécanismes

Chez le rat et le cochon d'Inde, l'exposition au Pb de plus de 30 jours (chez le rat : 300 ppm/j dans l'eau

de boisson ou 4 mg/kg par gavage ; chez le cochon d'Inde : 2 mmol/L dans l'eau de boisson ou 50 mg/kg 2 fois/semaine par injection intrapéritonéale) altère les résultats du test ABR évoquant plutôt une atteinte périphérique de la cochlée, que des voies de conduction nerveuse [73 à 75]. Chez la souris, l'exposition au Pb pendant le développement altère la structure des axones et la fonction des noyaux auditifs du tronc cérébral [76]. Après une exposition orale continue au Pb (eau de boisson) chez le cochon d'Inde, la plombémie augmente rapidement et se stabilise à partir du 15^e jour, alors qu'elle augmente significativement dans le tronc cérébral à partir du 60^e jour et dans la cochlée à partir du 90^e jour [75]. *Ex vivo* (culture organotypique de cochlée de rat), l'exposition au Pb (> 2 millimolaires pendant 72h) entraîne des lésions des fibres du nerf auditif périphérique et des SGN avant que les cellules ciliées ne soient atteintes [77]. *In vivo*, l'exposition au Pb (par injection intrapéritonéale chez le cochon d'Inde ou *via* l'eau de boisson chez le rat) induit aussi une altération des jonctions serrées de la barrière hémato-labyrinthique suggérant une augmentation de la perméabilité [74]. La mort des cellules de l'oreille interne induite par le Pb semble liée au stress oxydant et implique l'apoptose chez la souris (à partir de 2 mmol/L dans l'eau pendant 28 jours) et possiblement l'autophagie chez le cochon d'Inde après exposition orale à l'acétate de Pb (2 mmol/L dans l'eau) [75, 78].

Coexposition.

Dans un échantillon de la population générale des États-Unis, les personnes présentant des taux sanguins élevés de Pb et de Cd présentent une perte auditive plus élevée que celles exposées à l'un des

deux métaux (19 % vs 7,3 % pour le Cd seul et 10,1 % pour le Pb seul) [24]. En revanche, chez la souris, aucun effet synergique sur l'audition (ABR, DPOAE) n'a été montré lors d'une coexposition au Pb et au Cd *via* l'eau de boisson (taux sanguin moyen en Cd entre 1,3 et 27,2 µg/L ; en Pb entre 2,89 et 60,1 µg/dL) [79]. Chez la souris, l'exposition chronique au Pb (eau de boisson) augmente les seuils auditifs de façon à potentialiser l'effet du bruit [78]. Néanmoins, ces résultats n'ont pas été retrouvés chez l'homme au sein d'un échantillon de la population générale sud coréenne avec une exposition au bruit évaluée *via* l'utilisation d'écouteurs [71].

Trouble de l'équilibre

Une relation entre une dysfonction vestibulaire (mise en évidence à l'examen clinique) et l'exposition au Pb (plombémie entre 3,3 et 48 µg/dL) est décrite au sein d'un échantillon de la population générale des États-Unis [80]. Ce type de relation est également rapporté chez l'animal. Chez la souris, une corrélation est observée entre la concentration moyenne de Pb dans l'os (178 mg/kg) et une instabilité de la tête (sans perte des cellules ciliées de l'utricule), après une exposition orale au Pb (eau de boisson) pendant 10 semaines [81].

CONCLUSION

L'UE, l'OSHA, l'IRSST et le NEG classent le Pb comme ototoxique. Les données publiées postérieurement renforcent ce classement. *In vitro*, le Pb présente une toxicité sur les cellules de l'oreille interne, en particulier les cellules ganglionnaires spirales, mais aussi sur les cellules ciliées de la base de la cochlée. Il peut également altérer la perméabilité de la barrière hémato-labyrinthique. L'exposition au Pb chez l'ani-

mal, comme chez l'homme, a ainsi été associée à des pertes d'audition prédominantes dans les hautes fréquences (pour des plombémies à partir de 2 µg/dL) et à des dysfonctions vestibulaires (pour des plombémies entre 3,3 et 48 µg/dL). Ces plombémies sont de l'ordre de celles observables en milieu professionnel ou environnemental (dans la population générale, le 95^e percentile de la plombémie est inférieur à 29 µg/L et, en milieu professionnel, la valeur limite biologique est fixée à 180 µg/L [ANSES 2019 cité dans [82]]). Au regard de l'ensemble de ces données, **le niveau de preuve sur l'ototoxicité du Pb est jugé élevé.**

TRIMÉTHYLÉTAIN

L'étain (Sn) et ses dérivés sont utilisés dans divers secteurs et produits : étamage (fer, cuivre), contenants alimentaires, production d'alliages, objets décoratifs, robinetterie, brasage Sn-Pb, amalgames dentaires...). Les dérivés organiques sont principalement utilisés comme biocides, peintures antifouling, stabilisants du PVC ou catalyseurs pour la production de polyuréthane et de silicone. En population générale, l'exposition aux dérivés organiques par l'alimentation (surtout les produits de la mer) est faible [8, 83].

CLASSEMENT OTOTOXIQUE ÉMIS PAR LES GROUPES D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Le triméthylétain est classé comme ototoxique par l'UE et l'OSHA, alors que l'IRSST et le NEG jugent le niveau de preuve insuffisant. Ces avis semblent reposer sur une analyse différente d'un même corpus d'études. Il s'agit surtout de données animales qui montrent des pertes d'audition après exposition au triméthylétain ou triéthylétain,

avec une relation dose-réponse chez le rat ainsi qu'une perte des CCE et une altération de la strie vasculaire chez le cochon d'Inde. Il est à noter une particularité selon l'espèce : le rat (NOAEL ou dose maximale sans effet toxique observable à 2 mg/kg) est moins sensible que le cochon d'Inde (LOAEL ou dose minimale avec effet toxique observable à 0,2 mg/kg). Chez l'homme, des cas d'intoxication professionnelle au triméthylétain sont décrits avec notamment des troubles de l'audition et un nystagmus [1, 2].

ANALYSE DES ÉTUDES PUBLIÉES DEPUIS CES RAPPORTS D'EXPERTS INTERNATIONAUX

Chez l'animal/mécanismes

Chez le rat (*in vivo* et *ex vivo*), l'exposition au triméthylétain entraîne des lésions de la cochlée dose-dépendantes et affecte préférentiellement les fibres du nerf auditif et les SGN, vraisemblablement en induisant l'apoptose. L'activité du nerf auditif est altérée surtout dans les hautes fréquences [84, 85]. Aucune étude n'a été identifiée sur les effets du triméthylétain sur le système vestibulaire ou sur les effets ototoxiques d'une coexposition au triméthylétain et à d'autres métaux ou au bruit.

CONCLUSION

Le triméthylétain est classé par l'UE et l'OSHA comme ototoxique sur la base d'études surtout animales, alors que l'IRSST et le NEG jugent le niveau de preuve insuffisant. Les données publiées depuis ces rapports apportent des précisions sur le mécanisme d'action. Chez le rat, le triméthylétain est reconnu toxique pour l'oreille interne de façon dose-dépendante. Les données chez l'homme restent très limitées. Au regard de l'ensemble de ces

données, **le niveau de preuve sur l'ototoxicité du triméthylétain est jugé modéré.**

DISCUSSION

Le travail bibliographique réalisé dans cet article visait à synthétiser les données disponibles sur l'ototoxicité des métaux pour proposer une classification de leur potentiel ototoxique. Le choix des métaux (Pb, As, Mn, Cd, Hg, Sn, Ge) se basait sur les métaux cités dans les rapports internationaux de groupes d'experts (UE, OSHA, IRSST, NEG) dont les dernières versions datent de 2009. L'actualisation des données depuis ces rapports a été réalisée grâce à une recherche bibliographique sur la base MedLine exclusivement. Le Co a été ajouté aux métaux étudiés car des informations sur son ototoxicité ont été identifiées lors de la recherche bibliographique. Les résultats obtenus apportent des connaissances nouvelles sur l'ototoxicité de ces huit métaux et sur leurs mécanismes d'action, mais quelques points peuvent encore être discutés.

Tout d'abord, la recherche bibliographique s'est limitée à la base MedLine considérée comme la plus complète concernant la santé humaine. Ensuite, le choix de ne pas utiliser la recherche par « *MeSH term* » proposée par MedLine (sauf pour le plomb) a permis d'identifier un maximum de publications car un délai de 6 mois à 1 an est nécessaire entre la parution d'un article et son indexation. Or plus de 250 études ont été publiées dans MedLine sur les ototoxiques sur la seule année 2020. Pour ce travail, près de 80 études ont été analysées. Il s'agissait surtout d'études expérimentales ou d'études menées chez l'homme

dans le cas d'une exposition environnementale. Très peu s'intéressaient au milieu professionnel. Pour évaluer le niveau de preuve disponible sur l'ototoxicité de chaque métal, la méthode utilisée dans ce travail était proche de celle utilisée par certains groupes d'experts comme l'IRSST ou l'INRS dans l'outil MiXie [86]. Elle consistait, notamment, à privilégier les études humaines, jugées souvent plus significatives et pertinentes que les études animales. Ces dernières posent le problème de l'extrapolation et peuvent être soumises à des différences de sensibilité inter-espèces.

La méthode consistait aussi à évaluer le niveau d'exposition à partir duquel l'effet était observé, pour voir s'il était proche d'un niveau d'exposition environnementale ou professionnelle. Pour les 8 métaux étudiés, le niveau de preuve retenu était au moins modéré. Plus précisément, le potentiel ototoxique a été jugé :

- **avéré pour le Pb** (niveau de preuve élevé) conformément aux 4 avis d'experts internationaux ;

- **avéré pour le Hg** (niveau de preuve élevé) conformément à l'avis de l'UE, de l'OSHA et du NEG. Seul l'IRSST jugeait les données non concluantes. Mais les études publiées depuis 2008 apportent des arguments supplémentaires chez l'homme d'une relation entre des pertes d'audition et l'exposition à des niveaux environnementaux, et précisent les mécanismes d'action du Hg ;

- **avéré pour l'As** (niveau de preuve élevé) alors que l'UE et l'OSHA ne faisaient que suspecter un potentiel ototoxique. Toutefois, les études publiées depuis 2008 renforcent les données humaines avec la mise en évidence d'une relation entre le taux d'As dans les phanères et des pertes d'audition ou des anoma-

lies des DPOAE pour des niveaux d'exposition environnementaux ou professionnels ;

- **possible pour le Cd** (niveau de preuve modéré) conformément à l'avis de l'UE et de l'OSHA qui suspectaient un potentiel ototoxique. Les études publiées depuis 2008 précisent surtout le mécanisme d'action du Cd, mais son ototoxicité reste difficile à mettre en évidence chez l'homme pour des niveaux d'exposition environnementale ;

- **possible pour le Mn** (niveau de preuve modéré) conformément à l'avis de l'UE et de l'OSHA qui jugeaient les données limitées. Les données publiées postérieurement précisent le mécanisme d'action du Mn et suggèrent une relation entre l'exposition au Mn à des niveaux environnementaux et une ototoxicité, mais les études humaines restent limitées ;

- **possible pour le triméthylétain** (niveau de preuve modéré) alors que l'UE et l'OSHA l'ont classé comme ototoxique. Toutefois, ce classement se basait sur des données essentiellement animales, l'IRSST et le NEG ayant jugé le niveau de preuve insuffisant. Les données publiées postérieurement précisent le mécanisme d'action chez l'animal, mais aucune nouvelle donnée humaine n'a été identifiée ;

- **possible pour le dioxyde de germanium** (niveau de preuve modéré) alors que l'UE et l'OSHA l'ont classé comme ototoxique. Mais ce classement se basait sur des données animales et aucune donnée nouvelle n'a été identifiée ;

- **possible pour le Co** (niveau de preuve modéré). Celui-ci n'a pas été évalué par les groupes d'experts internationaux, mais des études postérieures à 2008 décrivent chez l'animal une ototoxicité et chez l'homme une corrélation entre des symptômes auditifs ou vestibulo-

laire et une exposition professionnelle ou *via* l'implantation de certaines prothèses.

Ce travail a également mis en exergue la difficulté d'interpréter des données bibliographiques pour constituer un niveau de preuve fiable. D'une part, la plupart des études analysées montrent un effet ototoxique, d'où un possible biais de publication occultant des résultats négatifs. D'autre part, plusieurs études ont été menées par les mêmes équipes d'auteurs, d'où un possible effet de saturation susceptible de masquer des résultats controversés. Par ailleurs, les études menées chez l'homme sont difficiles à interpréter du fait de l'incertitude sur les niveaux d'exposition, des coexpositions susceptibles d'engendrer elles-aussi des troubles auditifs (bruit, autre catégorie d'ototoxiques comme des solvants) et des facteurs confondants (mode de vie, âge, ethnicité...). Enfin, chez l'animal, la disparité des résultats peut être liée à des sensibilités différentes entre espèces, comme cela a pu être observé avec d'autres ototoxiques (par exemple anticancéreux à base de platine, antibiotiques) [81], ainsi qu'aux différentes méthodologies employées..

Malgré des niveaux de connaissance différents entre les métaux, un mécanisme d'action commun semble se dégager. Alors qu'ils sont connus pour leur neurotoxicité centrale, ces métaux ciblent également les structures nerveuses de l'oreille interne (fibres du nerf auditif, SGN). Les cellules ciliées sensorielles sont elles aussi touchées. Pour la plupart des métaux étudiés (triméthylétain, plomb, manganèse, cobalt, cadmium), la base de la cochlée est touchée en premier, ce phénomène rappelle le mode d'action d'autres ototoxiques (par exemple aminoglycosides, dérivés du platine) [34].

À l'inverse, pour l'arsenic et le mercure, l'apex semble touché en premier. De plus, l'induction d'un stress oxydant et l'activation des voies de l'apoptose sont souvent retrouvées comme les mécanismes à l'origine de la mort cellulaire au sein de la cochlée. Reste à savoir si les effets ototoxiques observés *in vitro* ou chez l'animal sont susceptibles de survenir chez l'homme pour des niveaux d'exposition plus faibles correspondant à des expositions environnementale et professionnelle. En effet, peu d'expositions aux métaux à de tels niveaux sont associées de façon avérée à des troubles de l'audition chez l'homme (Pb, Hg, As). Dans les cas de pertes d'audition, les atteintes concernent principalement les hautes fréquences (sauf pour le mercure et l'arsenic pour lesquels les atteintes concernent principalement les basses fréquences) et les voies nerveuses périphériques auditives voire vestibulaires. Concernant la vestibulotoxicité des métaux, les données sont très limitées. Ceci peut s'expliquer par la complexité des systèmes régissant l'équilibre (systèmes vestibulaire, proprioceptif et visuel) et leur capacité à se compenser entre eux, ce qui rend plus difficile l'observation de signes cliniques.

Les études s'intéressant à la coexposition métal/métal ou métal/bruit sont peu nombreuses. En théorie, on peut penser que l'association entre deux facteurs ototoxiques sera au moins aussi délétère que chaque facteur pris individuellement, surtout si ces facteurs ont un mécanisme d'action semblable (comme l'induction d'un stress oxydant). Les interactions sont d'autant plus attendues pour des métaux cumulatifs qu'ils ouvrent la possibilité d'effets à distance de l'exposition. Certains résultats vont dans ce sens et suggèrent une sy-

nergie des effets lors d'une coexposition bruit/métal ou métal/métal [54]. Toutefois, les effets et les relations dose-effet des coexpositions peuvent être complexes. L'exemple du cobalt illustre bien : il semble contrebalancer les effets du bruit à faible dose et induire des effets ototoxiques à fortes doses.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'ototoxicité des métaux suscite un intérêt croissant dans la littérature. À partir de cette analyse bibliographique, le potentiel ototoxique est jugé avéré pour le Pb, le Hg, l'As, possible pour le Cd, le Mn, le dioxyde de germanium, le Co et le triméthylétain. Il semble se dessiner un mécanisme toxique commun pour ces substances avec une atteinte neurologique de l'oreille interne (fibres du nerf auditif et neurones du ganglion spiral) et aussi des effets sur les cellules sensorielles. Toutefois, des études complémentaires restent nécessaires pour préciser les mécanismes d'action et les niveaux d'exposition à partir desquels les effets apparaissent chez l'homme. Les coexpositions métal/métal ou métal/bruit sont complexes à appréhender compte tenu du peu d'études publiées sur ces sujets. Il ressort néanmoins la possibilité d'une interaction *a fortiori* lorsque les mécanismes d'action sont semblables ou qu'il s'agit de métaux aux effets cumulatifs. Les mesures de prévention déjà mises en place pour ces métaux, en raison de leurs autres effets toxiques connus, permettent également de diminuer le risque ototoxique. Toutefois, la connaissance d'un potentiel ototoxique est indispensable pour identifier de nouvelles situations de

travail comme les coexpositions et en adapter l'évaluation des risques et les mesures de prévention. Concrètement, il s'agit d'éviter ou de limiter l'exposition à ces métaux et aux autres facteurs néfastes pour l'oreille interne comme le bruit. Les personnes exposées seront informées du risque encouru pour leur oreille interne et du risque d'interaction (y compris avec des facteurs non professionnels comme des médicaments ototoxiques). Le suivi en santé au travail de ces personnes portera une attention particulière aux signes précoces d'atteinte de l'audition et de l'équilibre. Le médecin du travail évaluera l'utilité ou non de réaliser des examens complémentaires (comme un suivi audiométrique) en fonction des données de l'examen clinique et de l'appréciation de l'importance de l'exposition.

POINTS À RETENIR

- Un agent ototoxique est une substance chimique susceptible d'induire une toxicité sur les fonctions et/ou sur les structures de l'oreille interne.
- À partir de ce travail bibliographique, le potentiel ototoxique du plomb, du mercure et de l'arsenic est jugé avéré ; le potentiel ototoxique du cadmium, du manganèse, du dioxyde de germanium, du cobalt et du triméthylétain est jugé possible.
- Un mécanisme toxique commun impliquant un stress oxydant semble se dégager pour ces huit métaux avec une atteinte neurologique périphérique de l'oreille interne (fibres du nerf auditif, neurones du ganglion spiral) et des effets sur les cellules ciliées sensorielles.
- Les coexpositions métal/métal ou métal/bruit sont complexes à appréhender mais la possibilité d'une interaction synergique ne peut être exclue *a fortiori* lorsque les mécanismes d'action sont semblables ou qu'il s'agit d'un métal cumulatif.
- La connaissance d'un potentiel ototoxique permet au préventeur d'identifier de nouvelles situations de travail pour lesquelles il existerait un risque d'ototoxicité.
- En prévention, il s'agira d'éviter ou, à défaut, de limiter l'exposition à ces huit métaux et aux autres facteurs néfastes pour l'oreille interne comme le bruit ; d'informer les personnes exposées sur le risque encouru pour leur oreille interne et du risque d'interaction ; d'ajuster le suivi de santé de ces personnes en portant une attention particulière aux signes précoces d'atteinte de l'audition et de l'équilibre.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | CAMPO P, MAGUIN K, GABRIEL S, MÖLLER A ET AL. - Combined exposure to noise and ototoxic substances. Bilbao : European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) ; 2009 : 62 p.
- 2 | JOHNSON AC, MORATA TC - 142. Occupational exposure to chemicals and hearing impairment. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks for Chemicals. NR 2010;44(4). Arbete och Hälsa. Gothenburg : University of Gothenburg ; 2009 : 190 p.
- 3 | VYSKOCIL A, LEROUX T, TRUCHON G, LEMAY F ET AL. - Effet des substances chimiques sur l'audition. Interactions avec le bruit. Etudes et recherches. Rapport R-685. IRSST, 2011 (<https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-685.pdf?v=2021-01-20>).
- 4 | Preventing hearing loss caused by chemical (ototoxicity) and noise exposure. DHHS (NIOSH) Publication Number 2018-124. CDC, OSHA, 2018 (<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2018-124/default.html>).
- 5 | Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Coexposition professionnels au bruit et aux substances chimiques. Rapport d'expertise collective. ANSES, 2013 (<https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2012sa0047Ra.pdf>).
- 6 | TORTORA GJ, GRABOWSKI SR - Principes d'anatomie et de physiologie. 3ème 3e édition française. Bruxelles : De Boeck Université ; 2001 : 1121 p.
- 7 | Arsenic et composés minéraux. FT 192. In: Fiches toxicologiques. INRS, 2006 (<https://www.inrs.fr/fichetox>).
- 8 | BAUD F, GARNIER R (Eds) - Toxicologie clinique. 6^e édition. Médecine Sciences. Paris : Lavoisier; 2017 : 1654 p.
- 9 | ISHII N, MOCHIZUKI H, EBIHARA Y, SHIOMI K ET AL. - Clinical Symptoms, Neurological Signs, and Electrophysiological Findings in Surviving Residents with Probable Arsenic Exposure in Toroku, Japan. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2018 ; 75 (4) : 521-29.
- 10 | ISHII N, MOCHIZUKI H, YAMASHITA M, YAGI K ET AL. - Auditory brainstem response analysis for long-term central auditory function sequelae in patients with chronic arsenic intoxication: A cross-sectional study. *J Neurol Sci*. 2019 ; 398 : 2-3.
- 11 | SHIUE I - Urinary environmental chemical concentrations and vitamin D are associated with vision, hearing, and balance disorders in the elderly. *Environ Int*. 2013 ; 53 : 41-46.
- 12 | KESICI GG, ÜNLÜ İ, TOPÇU AB, BAL CD ET AL. - Arsenic related hearing loss in miners. *Am J Otolaryngol*. 2016 ; 37 (1) : 6-11.
- 13 | HWANG YH, CHIANG HY, YEN-JEAN MC, WANG JD - The association between low levels of lead in blood and occupational noise-induced hearing loss in steel workers. *Sci Total Environ*. 2009 ; 408 (1) : 43-49.
- 14 | SHARGORODSKY J, CURHAN SG, HENDERSON E, EAVEY R ET AL. - Heavy metals exposure and hearing loss in US adolescents. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2011 ; 137 (12) : 1183-89.
- 15 | HE T, OHGAMI N, LI X, YAJIMA I ET AL. - Hearing loss in humans drinking tube well water with high levels of iron in arsenic-polluted area. *Sci Rep*. 2019 ; 9 (1) : 9028.
- 16 | LI X, OHGAMI N, YAJIMA I, XU H ET AL. - Arsenic level in toenails is associated with hearing loss in humans. *PLoS One*. 2018 ; 13 (7) : e0198743.
- 17 | SAUNDERS JE, JASTRZEMBSKI BG, BUCKEY JC, ENRIQUEZ D ET AL. - Hearing loss and heavy metal toxicity in a Nicaraguan mining community: audiological results and case reports. *Audiol Neurootol*. 2013 ; 18 (2) : 101-13.
- 18 | Dépistage, prise en charge et suivi des personnes potentiellement surexposées à l'arsenic inorganique du fait de leur lieu de résidence. Recommandation de bonne pratique. Haute Autorité de Santé (HAS), 2020 (https://www.has-sante.fr/jcms/p_3150638/fr/depistage-prise-en-charge-et-suivi-des-personnes-potentiellement-surexposees-a-l-arsenic-inorganique-du-fait-de-leur-lieu-de-residence).
- 19 | LI X, OHGAMI N, OMATA Y, YAJIMA I ET AL. - Oral exposure to arsenic causes hearing loss in young people aged 12-29 years and in young mice. *Sci Rep*. 2017 ; 7 (1) : 6 844.
- 20 | Cadmium et composés minéraux. FT 60. In: Fiches toxicologiques. INRS, 2019 (<https://www.inrs.fr/fichetox>).
- 21 | ROTH JA, SALVI R - Ototoxicity of Divalent Metals. *Neurotox Res*. 2016 ; 30 (2) : 268-82.
- 22 | FÁBELOVÁ L, LOFFREDO CA, KLÁNOVÁ J, HILSCHEROVÁ K ET AL. - Environmental ototoxicants, a potential new class of chemical stressors. *Environ Res*. 2019 ; 171 : 378-94.
- 23 | CASTELLANOS MJ, FUENTE A - The Adverse Effects of Heavy Metals with and without Noise Exposure on the Human Peripheral and Central Auditory System: A Literature Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2016 ; 13 (12) : 1223.
- 24 | CHOI YH, HU H, MUKHERJEE B, MILLER J ET AL. - Environmental cadmium and lead exposures and hearing loss in U.S. adults: the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999 to 2004. *Environ Health Perspect*. 2012 ; 120 (11) : 1544-50.
- 25 | CHOI YH, PARK SK - Environmental Exposures to Lead, Mercury, and Cadmium and Hearing Loss in Adults and Adolescents: KNHANES 2010-2012. *Environ Health Perspect*. 2017 ; 125 (6) : 067003.
- 26 | Cadmium et composés minéraux. In: BIOTOX. INRS, 2020 (<https://www.inrs.fr/biotox>).
- 27 | KANG GH, UHM JY, CHOI YG, KANG EK ET AL. - Environmental exposure of heavy metal (lead and cadmium) and hearing loss: data from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES 2010-2013). *Ann Occup Environ Med*. 2018 ; 30 : 22.
- 28 | LIU Y, HUO X, XU L, WEI X ET AL. - Hearing loss in children with e-waste lead and cadmium exposure. *Sci Total Environ*. 2018 ; 624 : 621-27.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

- 29 | XU L, HUO X, LIU Y, ZHANG Y ET AL. - Hearing loss risk and DNA methylation signatures in preschool children following lead and cadmium exposure from an electronic waste recycling area. *Chemosphere*. 2020 ; 246 : 125829.
- 30 | KIM SJ, JEONG HJ, MYUNG NY, KIM MC ET AL. - The protective mechanism of antioxidants in cadmium-induced ototoxicity in vitro and in vivo. *Environ Health Perspect*. 2008 ; 116 (7) : 854-62.
- 31 | KIM SJ, SHIN BG, CHOI IY, KIM DH ET AL. - Hwanggunchungyitang prevents cadmium-induced ototoxicity through suppression of the activation of caspase-9 and extracellular signal-related kinase in auditory HEI-OC1 cells. *Biol Pharm Bull*. 2009 ; 32 (2) : 213-19.
- 32 | KIM SJ, MYUNG NY, SHIN BG, LEE JH ET AL. - Protective effect of a Chrysanthemum indicum containing formulation in cadmium-induced ototoxicity. *Am J Chin Med*. 2011 ; 39 (3) : 587-600.
- 33 | KIM SJ, UM JY, KIM SH, HONG SH - Protective effect of rosmarinic acid is through regulation of inflammatory cytokine in cadmium-induced ototoxicity. *Am J Chin Med*. 2013 ; 41 (2) : 391-404.
- 34 | LIU H, DING D, SUN H, JIANG H ET AL. - Cadmium-induced ototoxicity in rat cochlear organotypic cultures. *Neurotox Res*. 2014 ; 26 (2) : 179-89.
- 35 | DING D, ZHANG J, JIANG H, XUAN W ET AL. - Some Ototoxic Drugs Destroy Cochlear Support Cells Before Damaging Sensory Hair Cells. *Neurotox Res*. 2020 ; 37 (3) : 743-52.
- 36 | SCHMID C, ALAMPI I, BRIGGS J, TARCZA K ET AL. - Mechanotransduction Activity Facilitates Hair Cell Toxicity Caused by the Heavy Metal Cadmium. *Front Cell Neurosci*. 2020 ; 14 : 37.
- 37 | Cobalt et composés minéraux. FT 128. In: Fiches toxicologiques. INRS, 2015 (<https://www.inrs.fr/fichetox>).
- 38 | LEYSSENS L, VINCK B, VAN DER STRAETEN C, DHOOGHE I ET AL. - The ototoxic potential of cobalt from metal-on-metal hip implants: a pilot study on the patient-reported auditory, vestibular, and general neurological outcome. *Int J Audiol*. 2021 ; 60 (1): 44-53.
- 39 | LEYSSENS L, VINCK B, VAN DER STRAETEN C, DE SMET K ET AL. - The Ototoxic Potential of Cobalt From Metal-on-Metal Hip Implants: Objective Auditory and Vestibular Outcome. *Ear Hear*. 2020 ; 41 (1) : 217-30.
- 40 | HO JH, LEIKIN JB, DARGAN PI, ARCHER JRH ET AL. - Metal-on-Metal Hip Joint Prostheses: a Retrospective Case Series Investigating the Association of Systemic Toxicity with Serum Cobalt and Chromium Concentrations. *J Med Toxicol*. 2017 ; 13 (4) : 321-28.
- 41 | JELSMA J, SCHOTANUS M, KLEINVELD H, GRIMM B ET AL. - Self-reported systemic complaints in patients with metal-on-metal hip arthroplasty. *J Orthop*. 2020 ; 18 : 213-17.
- 42 | PAUSTENBACH DJ, TVERMOES BE, UNICE KM, FINLEY BL ET AL. - A review of the health hazards posed by cobalt. *Crit Rev Toxicol*. 2013 ; 43 (4) : 316-62.
- 43 | Cobalt et composés minéraux. In: BIOTOX. INRS, 2020 (<https://www.inrs.fr/biotox>).
- 44 | APOSTOLI P, CATALANI S, ZAGHINI A, MARIOTTI A ET AL. - High doses of cobalt induce optic and auditory neuropathy. *Exp Toxicol Pathol*. 2013 ; 65 (6) : 719-27.
- 45 | LI P, DING D, SALVI R, ROTH JA - Cobalt-Induced Ototoxicity in Rat Postnatal Cochlear Organotypic Cultures. *Neurotox Res*. 2015 ; 28 (3) : 209-21.
- 46 | LEE JN, KIM SG, LIM JY, DUTTA RK ET AL. - 3-Aminotriazole protects from CoCl₂-induced ototoxicity by inhibiting the generation of reactive oxygen species and proinflammatory cytokines in mice. *Arch Toxicol*. 2016 ; 90 (4) : 781-91.
- 47 | PAK JH, YI J, RYU S, KIM IK ET AL. - Induction of Redox-Active Gene Expression by CoCl₂ Ameliorates Oxidative Stress-Mediated Injury of Murine Auditory Cells. *Antioxidants* (Basel). 2019 ; 8 (9) : 399.
- 48 | CHUNG JW, SHIN JE, HAN KW, AHN JH ET AL. - Up-regulation of hypoxia-inducible factor-1 alpha by cobalt chloride prevents hearing loss in noise-exposed mice. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2011 ; 31 (1) : 153-59.
- 49 | Dioxyde de manganèse. FT 52. In: Fiches toxicologiques. INRS, 2015 (<https://www.inrs.fr/fichetox>).
- 50 | LANGLEY RL, KAO Y, MORT SA, BATEMAN A ET AL. - Adverse neurodevelopmental effects and hearing loss in children associated with manganese in well water, North Carolina USA. *J Environ Occup Sci*. 2015 ; 4 (2) : 62-69.
- 51 | OHGAMI N, LI X, YAJIMA I, OSHINO R ET AL. - Manganese in toenails is associated with hearing loss at high frequencies in humans. *Biomarkers*. 2018 ; 23 (6) : 533-39.
- 52 | OHGAMI N, YAJIMA I, IIDA M, LI X ET AL. - Manganese-mediated acceleration of age-related hearing loss in mice. *Sci Rep*. 2016 ; 6 : 36 306.
- 53 | MA C, SCHNEIDER SN, MILLER M, NEBERT DW ET AL. - Manganese accumulation in the mouse ear following systemic exposure. *J Biochem Mol Toxicol*. 2008 ; 22 (5) : 305-10.
- 54 | MUTHAIAH VPK, CHEN GD, DING D, SALVI R ET AL. - Effect of manganese and manganese plus noise on auditory function and cochlear structures. *Neurotoxicology*. 2016 ; 55 : 65-73.
- 55 | WANG L, DING D, SALVI R, ROTH JA - Nicotinamide adenine dinucleotide prevents neuroaxonal degeneration induced by manganese in cochlear organotypic cultures. *Neurotoxicology*. 2014 ; 40 : 65-74.
- 56 | DING D, ROTH J, SALVI R - Manganese is toxic to spiral ganglion neurons and hair cells in vitro. *Neurotoxicology*. 2011 ; 32 (2) : 233-41.
- 57 | WANG W, LI D, DING X, ZHAO Q ET AL. - N-Acetylcysteine protects inner ear hair cells and spiral ganglion neurons from manganese exposure by regulating ROS levels. *Toxicol Lett*. 2017 ; 279 : 77-86.
- 58 | Mercure et composés minéraux. FT 55. In: Fiches toxicologiques. INRS, 2014 (<https://www.inrs.fr/fichetox>).
- 59 | VYSKOCIL A, TRUCHON G, LEROUX T, LEMAY F ET AL. - A weight of evidence approach for the assessment of the

- ototoxic potential of industrial chemicals. *Toxicol Ind Health*. 2012 ; 28 (9) : 796-819.
- 60 | Liste des VLEP françaises. Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques. Outil 65. INRS, 2019 (<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65>).
- 61 | AL-BATANONY MA, ABDEL-RASUL GM, ABU-SALEM MA, AL-DALATONY MM ET AL. - Occupational exposure to mercury among workers in a fluorescent lamp factory, Quisna Industrial Zone, Egypt. *Int J Occup Environ Med*. 2013 ; 4 (3) : 149-56.
- 62 | NAKAMURA M, HACHIYA N, MURATA KY, NAKANISHI I ET AL. - Methylmercury exposure and neurological outcomes in Taiji residents accustomed to consuming whale meat. *Environ Int*. 2014 ; 68 : 25-32.
- 63 | ROTHWELL JA, BOYD PJ - Amalgam dental fillings and hearing loss. *Int J Audiol*. 2008 ; 47 (12) : 770-76.
- 64 | HOSHINO A, PACHECO-FERREIRA H, SANCHES SG, CARVALLO R ET AL. - Mercury exposure in a riverside Amazon population, Brazil: a study of the ototoxicity of methylmercury. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2015 ; 19 (2) : 135-40.
- 65 | HUANG CF, HSU CJ, LIU SH, LIN-SHIAU SY - Neurotoxicological mechanism of methylmercury induced by low-dose and long-term exposure in mice: oxidative stress and down-regulated Na⁺/K⁺-ATPase involved. *Toxicol Lett*. 2008 ; 176 (3) : 188-97.
- 66 | HUANG CF, HSU CJ, LIU SH, LIN-SHIAU SY - Ototoxicity induced by cinnabar (a naturally occurring HgS) in mice through oxidative stress and down-regulated Na⁺/K⁺-ATPase activities. *Neurotoxicology*. 2008 ; 29 (3) : 386-96.
- 67 | HUANG CF, LIU SH, HSU CJ, LIN-SHIAU SY - Neurotoxicological effects of low-dose methylmercury and mercuric chloride in developing offspring mice. *Toxicol Lett*. 2011 ; 201 (3) : 196-204.
- 68 | SAHIN D, ERDOGU CO, KARADENIZLI S, KARA A ET AL. - Effects of gestational and lactational exposure to low dose mercury chloride (HgCl₂) on behaviour, learning and hearing thresholds in WAG/Rij rats. *EXCLI J*. 2016 ; 15 : 391-402.
- 69 | Plomb et composés minéraux. FT 59. In: Fiches toxicologiques. INRS, 2020 (<https://www.inrs.fr/fichetox>).
- 70 | PARK SK, ELMARSAFAWY S, MUKHERJEE B, SPIRO A 3RD ET AL. - Cumulative lead exposure and age-related hearing loss: the VA Normative Aging Study. *Hear Res*. 2010 ; 269 (1-2) : 48-55.
- 71 | HUH DA, CHOI YH, MOON KW - The Effects of Earphone Use and Environmental Lead Exposure on Hearing Loss in the Korean Population: Data Analysis of the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES), 2010-2013. *PLoS One*. 2016 ; 11 (12) : e0168718.
- 72 | HUH DA, CHOI YH, Ji MS, MOON KW ET AL. - Comparison of Pure-Tone Average Methods for Estimation of Hearing Loss Caused by Environmental Exposure to Lead and Cadmium: Does the Pure-Tone Average Method Which Uses Low-Frequency Ranges Underestimate the Actual Hearing Loss Caused by Environmental Lead and Cadmium Exposure? *Audiol Neurootol*. 2018 ; 23 (5) : 259-69.
- 73 | LIU S, ZHANG K, WU S, Ji X ET AL. - Lead-induced hearing loss in rats and the protective effect of copper. *Biol Trace Elem Res*. 2011 ; 144 (1-3) : 1112-19.
- 74 | LIU X, ZHENG G, WU Y, SHEN X ET AL. - Lead exposure results in hearing loss and disruption of the cochlear blood-labyrinth barrier and the protective role of iron supplement. *Neurotoxicology*. 2013 ; 39 : 173-81.
- 75 | ZHANG Y, JIANG Q, XIE S, WU X ET AL. - Lead Induced Ototoxicity and Neurotoxicity in Adult Guinea Pig. *Biomed Res Int*. 2019 ; 2019 : 3626032.
- 76 | Jones LG, Prins J, Park S, Walton JP et al. - Lead exposure during development results in increased neurofilament phosphorylation, neuritic beading, and temporal processing deficits within the murine auditory brainstem. *J Comp Neurol*. 2008 ; 506 (6) : 1003-17.
- 77 | WU XW, DING DL, SUN H, LIU H ET AL. - Lead neurotoxicity in rat cochlear organotypic cultures. *J Otol*. 2011 ; 6 (2) : 43-50.
- 78 | JAMESDANIEL S, ROSATI R, WESTRICK J, RUDEN DM - Chronic lead exposure induces cochlear oxidative stress and potentiates noise-induced hearing loss. *Toxicol Lett*. 2018 ; 292 : 175-80.
- 79 | CARLSON K, SCHACHT J, NEITZEL RL - Assessing ototoxicity due to chronic lead and cadmium intake with and without noise exposure in the mature mouse. *J Toxicol Environ Health A*. 2018 ; 81 (20) : 1041-57.
- 80 | MIN KB, LEE KJ, PARK JB, MIN JY - Lead and cadmium levels and balance and vestibular dysfunction among adult participants in the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2004. *Environ Health Perspect*. 2012 ; 120 (3) : 413-17.
- 81 | KLIMPEL KEM, LEE MY, KING WM, RAPHAEL Y ET AL. - Vestibular dysfunction in the adult CBA/CaJ mouse after lead and cadmium treatment. *Environ Toxicol*. 2017 ; 32 (3) : 869-76.
- 82 | Plomb et composés minéraux. In: BIOTOX. INRS, 2020 (<https://www.inrs.fr/biotox>).
- 83 | FERRARI C, DURAND-MOREAU Q, LODDÉ B, DEWITTE JD - Toxicité de l'étain et de ses dérivés. Encyclopédie médico-chirurgicale. Pathologie professionnelle et de l'environnement 16-002-E-30. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2017 : 9 p.
- 84 | YU J, DING D, SUN H, SALVI R ET AL. - Neurotoxicity of trimethyltin in rat cochlear organotypic cultures. *Neurotox Res*. 2015 ; 28 (1) : 43-54.
- 85 | YU J, DING D, SUN H, SALVI R ET AL. - Trimethyltin-induced cochlear degeneration in rat. *J Otol*. 2016 ; 11 (3) : 118-26.
- 86 | BERTRAND N, BINET S, CAMPO P, CLERC F ET AL. - Guide d'utilisation de MiXie France. Mise à jour 2020. Note scientifique et technique NS 358. Paris : INRS ; 2020 : 18 p.

ANNEXE 1

Tableau synoptique sur l'ototoxicité des métaux

| Métaux | Avis des groupes d'experts internationaux | | | | Données identifiées | | | Conclusion du présent travail sur l'ototoxicité | |
|----------------|--|---------------|---|---|---------------------|---|--------------------|---|----------------------|
| | UE | IRSST | OSHA | NEG | Données animales | Données humaines | Données mécaniques | Niveau de preuve | Potentiel ototoxique |
| Arsenic | <i>Compound with fair evidence of ototoxicity (suspected ototoxic substance) (1)</i> | Non évalué | <i>Limited evidence that supports the ototoxicity (4)</i> | Non évalué | Oui | Oui | Oui | Élevé | Avéré |
| Mercur | <i>Compound with good evidence of ototoxicity (confirmed ototoxic substance) (2)</i> | Non concluant | <i>Ototoxic substance (5)</i> | <i>Category 1. Human data indicate auditory effects under or near existing OELs and robust animal data support an effect on hearing from exposure (6)</i> | Oui | Oui | Oui | Élevé | Avéré |
| Plomb | <i>Compound with good evidence of ototoxicity (confirmed ototoxic substance) (2)</i> | Ototoxique | <i>Ototoxic substance (5)</i> | <i>Category 1. Human data indicate auditory effects under or near existing OELs and robust animal data support an effect on hearing from exposure (6)</i> | Oui | Oui | Oui | Élevé | Avéré |
| Cadmium | <i>Compound with fair evidence of ototoxicity (suspected ototoxic substance) (1)</i> | Non évalué | <i>Limited evidence that supports the ototoxicity (4)</i> | Non évalué | Oui | Oui, mais il est difficile de rattacher les effets à une exposition au métal à un niveau environnemental ou professionnel | Oui | Modéré | Possible |

(1) Composé avec des preuves satisfaisantes d'ototoxicité (substance ototoxique suspectée)

(2) Composé avec de bonnes preuves d'ototoxicité (substance ototoxiques avérée)

(3) Composé avec de faibles preuves d'ototoxicité (substance ototoxique incertaine)

(4) Preuves limitées démontrant une ototoxicité

(5) Substance ototoxique

(6) Catégorie 1. Les données humaines indiquent des effets auditifs pour des niveaux d'exposition inférieurs ou proches des VLEP existantes. Il existe également des données animales solides soutenant un effet de l'exposition sur l'audition

(7) Catégorie 3. Données humaines faibles ou inexistantes. Les données animales indiquent un effet sur l'audition pour des niveaux d'exposition bien supérieurs aux VLEP existantes

| Métaux | Avis des groupes d'experts internationaux | | | | Données identifiées | | | Conclusion du présent travail sur l'ototoxicité | |
|-----------------------------|---|---------------|---|---|---------------------|--|-----------------------|---|----------------------|
| | UE | IRSST | OSHA | NEG | Données animales | Données humaines | Données mécanistiques | Niveau de preuve | Potentiel ototoxique |
| Cobalt | Non évalué | Non évalué | Non évalué | Non évalué | Oui | Oui, mais les effets sont observés pour un niveau d'exposition très élevé par rapport à un niveau d'exposition environnemental | Oui | Modéré | Possible |
| Dioxyde de germanium | <i>Compound with good evidence of ototoxicity (confirmed ototoxic substance) (2)</i> | Non évalué | <i>Ototoxic substance (5)</i> | Non évalué | Oui | Aucune donnée identifiée | Oui | Modéré | Possible |
| Manganèse | <i>Compound with poor evidence of ototoxicity (questionably ototoxic substance) (3)</i> | Non évalué | <i>Limited evidence that supports the ototoxicity (4)</i> | Non évalué | Oui | Oui, mais il est difficile de rattacher les effets à une exposition au métal à un niveau environnemental ou professionnel | Oui | Modéré | Possible |
| Triméthylétain | <i>Compound with good evidence of ototoxicity (confirmed ototoxic substance) (2)</i> | Non concluant | <i>Ototoxic substance (5)</i> | <i>Category 3. Human data are poor or lacking. Animal data indicate an auditory effect well above existing OELs (7)</i> | Oui | Oui, mais les effets sont décrits seulement dans le cadre d'intoxication aiguë au triméthylétain | Oui | Modéré | Possible |

NOUVELLE
VERSION
Libre d'accès

L'essentiel se décide
avant de construire
ou de rénover vos locaux !

MAVIMPLANT



Un logiciel de création 3D
pour optimiser la production
en intégrant la santé
et la sécurité des salariés

Pour plus d'information :

► mavimplant.inrs.fr

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel : particularités et problématique du retour à l'emploi

AUTEUR :

A. Pichené-Houard, Département Homme au travail, INRS

EN
RÉSUMÉ

Les tendinopathies dégénératives de la coiffe des rotateurs survenues dans un contexte professionnel sont particulièrement fréquentes et invalidantes, notamment chez les travailleurs manuels, *a fortiori* âgés. Une chirurgie de cette coiffe, si réussie soit-elle, ne permet pas une restitution *ad integrum*. La prévention de ces pathologies devrait être améliorée pour réduire la fréquence de situations difficiles de perte d'emploi conduisant parfois à une désinsertion professionnelle. Le présent article propose une synthèse narrative de l'état des connaissances en ce domaine, abordant l'épidémiologie des troubles musculo-squelettiques de l'épaule, leur physiopathologie, les facteurs de risque et les facteurs pronostiques d'évolution de ces pathologies, ainsi que ceux du retour au travail dans cette situation. Cet article apporte, enfin, des repères de prise en charge, sans omettre d'évoquer les barrières qui se dressent communément sur le parcours de retour au travail des patients-salariés concernés.

MOTS CLÉS

Trouble musculo-squelettique / TMS / Pathologie articulaire / Maintien dans l'emploi / Retour au travail



© Patrick Delapierre pour l'INRS

Pendant plus de 20 ans, jusqu'en 2011, les troubles musculo-squelettiques (TMS) déclarés et reconnus en maladie professionnelle en France, comme dans de nombreux pays industrialisés, ont connu une progression constante, avant une relative stabilisation à un niveau qui reste élevé. Il s'agit notamment des atteintes des membres supérieurs figurant au tableau n° 57 des maladies professionnelles indemnifiables du régime général de la Sécurité sociale. Les TMS représentent 85 % du total des maladies professionnelles reconnues. Leur origine multifactorielle est très bien documentée [1]. Ils s'accompagnent de douleurs et d'atteintes à la santé plus ou moins graves pour les salariés, d'arrêts de

travail, de situations de handicap, de désorganisation dans les entreprises et de coûts élevés pour la société. Le constat est similaire dans l'ensemble des pays européens, en dépit de substantielles différences réglementaires entre pays [2].

En 2018, 39 742 cas de TMS du membre supérieur ont été reconnus en maladie professionnelle dans le régime général de la Sécurité sociale, correspondant à 91 % du nombre total de TMS reconnus (incluant le dos et les membres inférieurs). Les TMS sont en hausse de 2,7 % en 2018, après 2 années stables succédant à 5 années de décroissance. La part des TMS de l'épaule, particulièrement invalidants, représente 36 % du nombre total des TMS reconnus [3].

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :

particularités et problématique du retour à l'emploi

Le présent article développe les particularités des pathologies dégénératives de l'épaule et leur physiopathologie ; il aborde ensuite les facteurs de risque et les facteurs pronostiques de ces pathologies, ainsi que ceux du retour au travail. Il apporte enfin des repères de prise en charge, évoque les obstacles rencontrés et des perspectives de prévention.

PARTICULARITÉS DES PATHOLOGIES DÉGÉNÉRATIVES DE L'ÉPAULE : AMPLÉUR DU PHÉNOMÈNE

Les pathologies dégénératives de l'épaule concernent des lésions des tendons des muscles supra-épineux, infra-épineux et sous-scapulaire (ainsi que le tendon du long biceps qui participe à la stabilité du complexe articulaire de l'épaule, bien que ne faisant pas partie des muscles de la coiffe des rotateurs). Elles sont désignées par le terme « syndrome de la coiffe des rotateurs » (SCR) et présentent des caractéristiques particulières : fréquence des symptômes, lien avec l'âge, durée des arrêts de travail et risque d'exclusion de l'emploi.

Les données statistiques descriptives issues de la littérature s'avèrent peu précises, voire contradictoires. En effet, l'incidence et la prévalence des pathologies de l'épaule ne peuvent être définies de façon fiable du fait d'un défaut de diagnostic exact et de l'incertitude sur la localisation des symptômes [4].

En population générale, une revue systématique de la littérature internationale montre que la prévalence sur un an de douleurs à l'épaule varie de 4,7 % à 46,7 %, tandis que la prévalence sur la vie entière s'élève

à 66,7 % [5]. Pour leur part, Lewis et al. estiment qu'une personne sur 3 expérimente une douleur d'épaule au cours de sa vie [6]. En Finlande, la prévalence de la tendinopathie de la coiffe des rotateurs dans un échantillon représentatif de la population âgée de plus de 30 ans est estimée à 3,8 % [7]. En France, la prévalence en population générale des TMS de l'épaule serait d'environ 7 % [8].

Dans des populations françaises au travail, la prévalence des TMS de l'épaule varie selon les études et selon la précision du trouble évoqué. Par exemple, la prévalence du SCR est estimée à 6,6 % pour les hommes et 8,5 % pour les femmes dans un échantillon de 3 710 travailleurs de la population des Pays de la Loire suivi pendant 3 ans [9]. Dans la cohorte « Constances » constituée de 28 914 volontaires tirés au sort et âgés de 30 à 69 ans, 15,5 % des hommes actifs et 20,7 % des femmes actives présentent des douleurs persistantes de l'épaule [10]. Dans de nombreux cas, les TMS de l'épaule sont attribués au travail : selon Sirén et al. [11], des facteurs professionnels liés à la charge physique expliquent le départ en retraite de 46 % des hommes et 41 % des femmes qui sont en incapacité de travail en raison d'atteintes de l'épaule. En France, les TMS de l'épaule représentent 36 % (14 359 cas) de l'ensemble des TMS reconnus en maladie professionnelle [3]. Le nombre total des TMS de l'épaule liés au travail est très probablement supérieur à celui qui est reconnu, dans la mesure où la sous-déclaration de l'ensemble des TMS a été évaluée à 66 % [12]. Le coût moyen (soins et indemnisation) d'un TMS est supérieur à 21 000 euros [13]. Le coût d'une pathologie professionnelle de l'épaule est bien plus élevé (au moins 40 000 euros), en raison du potentiel invalidant et d'une durée moyenne d'arrêt de travail

de 355 jours en maladie professionnelle [3].

La particularité des atteintes de l'épaule concerne leur lien avec l'âge [14]. Le nombre de SCR reconnus en maladie professionnelle en France est 1,8 fois plus élevé chez les 50-59 ans que chez les 40-49 ans (ce facteur est de 1,1 pour les atteintes du poignet et de la main). De même, l'indice de fréquence des arrêts de travail en lien avec un SCR est 2,3 fois plus élevé pour la classe d'âge 50-59 ans que pour celle de 40-49 ans (ce facteur est de 1,5 pour les atteintes du poignet-main) [15].

Les pathologies dégénératives de l'épaule constituent en Finlande la seconde cause d'arrêt de travail parmi les TMS, après les pathologies du bas du dos [16]. Selon l'intensité de la douleur, le type de lésion, de traitement (médical ou chirurgical) et la compatibilité de l'état fonctionnel de l'épaule avec les exigences du travail, la durée des arrêts de travail consécutifs à un TMS de l'épaule peut être très variable. Bodin et al. [17] ont observé des durées d'arrêts de travail moyennes relativement courtes, de l'ordre de 5 semaines, pouvant s'expliquer, selon les auteurs, par la faible sévérité des cas rencontrés dans la population étudiée. D'autres études ont rapporté des durées d'arrêt nettement plus longues. Ainsi, des durées moyennes d'arrêt de travail de 5 mois ont été observées par Desmeules et al. [18] et Shields et al. [19] ; elles sont d'environ 7,5 mois d'après Creton [20] et Bhatia et al. [21] ou encore de 9,8 mois d'après Nové-Josserand et al. [22] dans différentes populations de salariés opérés de SCR. Collin et al. [23] et Creton [20] ont montré que dans respectivement 20 % et 37 % des cas, les patients opérés de l'épaule étaient incapables de reprendre leur travail à 6 mois post-opératoires. Dans une étude de cohorte, Gowd et al. [24] estiment

que la majorité des personnes opérées d'une réparation de la coiffe des rotateurs peut espérer un retour au travail dans les 8 mois post-opératoires. Ces résultats montrent que la récupération est souvent plus longue que les 6 mois généralement cités comme un objectif souhaitable de retour au travail, ce que confirment von Knoch et al. [25].

En France, les pathologies dégénératives de l'épaule reconnues en maladie professionnelle se caractérisent également par des durées moyennes d'arrêt de travail longues de 355 jours en moyenne, contre 234 jours pour le coude et 151 jours pour le poignet [3]. Bien que la reconnaissance en maladie professionnelle concerne souvent les cas pathologiques les plus graves, de telles durées d'arrêt de travail illustrent le risque de désinsertion professionnelle dans cette population. Les cas les plus lourds de SCR relèvent de la chirurgie et parfois ensuite de la médecine physique et de réadaptation ; ils posent de sérieuses difficultés de retour au travail, jusqu'à exposer à un risque d'exclusion de l'emploi et ensuite de désinsertion professionnelle. Après chirurgie pour un SCR lié au travail, Nové-Josserand et al. [22] constatent que le retour au travail survient au moins 2 ans après l'intervention dans 59,5 % des cas, l'âge moyen de cet échantillon étant de 50 ans. Par comparaison avec la population générale, les personnes atteintes d'une pathologie incapacitante de l'épaule perdent alors 1,8 à 8,1 années de vie professionnelle selon l'âge [26].

Ces données chiffrées, dont certaines sont issues des données de reconnaissance de maladies professionnelles, caractérisées par une sous-déclaration importante [27], montrent que les atteintes de l'épaule représentent un coût social important, et, du fait de leur augmentation avec l'avancée en

âge, sont particulièrement préjudiciables dans un contexte d'allongement de la vie professionnelle [28]. En effet, alors que les capacités fonctionnelles diminuent avec l'avancée en âge, les plus de 50 ans restent fortement exposés aux facteurs de risque de TMS et présentent une prévalence élevée de TMS, notamment de l'épaule. Ce constat inquiétant invite à une réflexion sur les conditions de travail soutenables [29].

PHYSIOPATHOLOGIE DES PRINCIPALES LÉSIONS DE LA COIFFE DES ROTATEURS DE L'ÉPAULE LIÉES AU TRAVAIL

Dans le domaine professionnel, les deux diagnostics les plus fréquemment rencontrés sous le terme de SCR sont le conflit sous-acromial (48 %) et les tendinopathies de la coiffe (30 %) [30]. Il s'agit d'un diagnostic générique n'explicitant pas le tendon précisément atteint, ni l'importance de la lésion (tendinopathie non rompue, puis rompue). Poser un diagnostic plus fin nécessite la réalisation de tests cliniques, cependant peu fiables et peu reproductibles, de sorte que l'accord entre les praticiens est faible. Ainsi, en essai randomisé, trois rhumatologues sont d'accord dans leur diagnostic dans 46 % des cas [31]. L'imagerie (échographie, imagerie par résonance magnétique, arthroscanner) complète le bilan diagnostique, mais n'atteint pas la précision de l'évaluation chirurgicale.

La physiopathologie du SCR se caractérise par une évolution dégénérative des tendons de la coiffe des rotateurs avec l'avancée en âge. Une compression des tendons entre la tête humérale et l'arche coraco-acromiale survient, ainsi que des phénomènes inflammatoires et

ischémiques [31] par compression vasculaire ou par augmentation de la pression intramusculaire, notamment lors des mouvements d'abduction et d'élévation antérieure [8]. Il existe également un œdème et des phénomènes cicatriciels sous forme de fibrose et d'adhérence de la capsule de l'articulation gléno-humérale et des tissus mous environnants, contribuant à la chronicité des symptômes [31].

Le conflit sous-acromial [32] se traduit par une friction et un effrètement des tendons dans l'espace sous-acromial dont la dimension est restreinte. Cela survient notamment à des angles critiques d'élévation du membre supérieur, lorsque les muscles de la coiffe se situent entre l'acromion et la tête humérale. Cette pathologie est associée à une réduction de l'espace sous-acromial durant l'élévation du bras. Elle est aussi associée aux tâches répétitives, ainsi qu'à une cinématique scapulo-thoracique et gléno-humérale altérée. En conséquence, les stratégies gestuelles des sujets atteints de syndrome de conflit diffèrent de celles des sujets sains [33]. Les perturbations vasculaires à l'origine d'une ischémie des tissus de l'épaule lors de l'élévation et de l'abduction du bras et les tendinopathies de la coiffe des rotateurs, notamment du supra-épineux, peuvent également aboutir à un conflit sous-acromial. Ce conflit est aussi associé à des asymétries et des anomalies posturales de la colonne cervicale, de la partie supérieure du tronc (cyphose), de l'épaule et de l'omoplate. Il est parfois secondaire à une instabilité gléno-humérale (subluxation), à une hyperlaxité des tissus, à une maladie neurologique, à des mouvements répétitifs et soutenus au-dessus de la tête, notamment dans le travail manuel ou dans des activités sportives comme la natation ou le tennis. Il

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :

particularités et problématique du retour à l'emploi

peut également être secondaire à un déficit de force au niveau des rotateurs externes et des abducteurs de l'épaule, ou bien à un ratio inadéquat entre rotateurs internes et externes, ou encore à une incoordination des abaisseurs et éleveurs de la tête humérale, voire à des incoordinations de recrutement des fibres musculaires au sein d'un même muscle. D'autres déficiences associées au conflit sont un espace sous-acromial anatomiquement réduit, une morphologie anormale de l'acromion, des rétractions capsulaires et musculaires. Trois stades évolutifs caractérisent ce syndrome de conflit [32] :

- **STADE I** : sujets de moins de 25 ans ; œdème et hémorragie ;
- **STADE II** : sujets de 25 à 45 ans ; fibrose et tendinopathie de la coiffe des rotateurs ;
- **STADE III** : après 45 ans ; rupture partielle ou complète de la coiffe des rotateurs.

Selon Neer [34], 95 % des ruptures de coiffe sont initiées par un syndrome de conflit sous-acromial. Le risque de chirurgie pour syndrome de conflit augmente avec l'exposition professionnelle à des facteurs de risque biomécaniques, tels que les postures inconfortables, les efforts et la répétitivité gestuelle. L'excès de cas chirurgicaux chez les exposés s'élève à 43 % par rapport à la population générale [35]. Avec l'avancée en âge et l'aggravation du conflit sous-acromial, les tendons de la coiffe des rotateurs dégénèrent et développent alors des déchirures macroscopiques [36]. Dans ce contexte, une inflammation de la bourse séreuse sous-deltoidienne ou sous-acromiale (bursite) est fréquente.

Les tendinopathies de la coiffe des rotateurs sont favorisées par des conditions anatomiques et physiologiques particulières. L'acromion présente une forme variable

d'une personne à l'autre, plus ou moins agressive pour les tendons de la coiffe des rotateurs. Constamment mal vascularisés, les tendons peuvent s'enflammer et se dégrader sous l'influence de différents facteurs de risque professionnels et extra-professionnels. Les tendons des muscles de la coiffe des rotateurs, cheminant dans un espace sous-acromial restreint et fortement sollicités, sont particulièrement exposés au risque de tendinopathie et ultérieurement de rupture. Ces pathologies d'usure prédominent sur le tendon supra-épineux et le tendon du long biceps. Cela se traduit par une douleur occasionnelle puis continue lors de mouvements ou de ports de charges, enfin par une douleur de repos à un stade plus avancé [37]. Les tendinopathies de la coiffe des rotateurs se manifestent également par une perte de force et une restriction variable des amplitudes articulaires actives. La tendinopathie de la coiffe des rotateurs résulte d'un conflit entre les tendons, d'une part, l'arche osseuse et ligamentaire située entre l'apophyse coracoïde et l'acromion, d'autre part ; en retour, elle aggrave le conflit sous-acromial (cercle vicieux).

FACTEURS DE RISQUE ET DÉROULÉ TEMPOREL DU SYNDROME DE LA COIFFE DES ROTATEURS

Des études épidémiologiques ont mis en évidence à la fois des facteurs de risques professionnels et personnels en relation avec la survenue de SCR. L'âge et le cumul de contraintes biomécaniques, professionnelles (hypersollicitation, notamment dans le travail manuel lourd) et extra-professionnelles (travail domestique, sports, loisirs) favorisent un long processus dégé-

neratif musculaire, tendineux et osseux (tendinopathie de la coiffe des rotateurs, conflit sous-acromial, arthropathie acromio-claviculaire et gléno-humérale, notamment). Le muscle supra-épineux est particulièrement vulnérable à la fatigue musculaire, repérée en laboratoire par électromyographie de surface ; or, le tendon de ce muscle est le plus fréquemment impliqué dans les ruptures de la coiffe des rotateurs [38]. Les ruptures de la coiffe des rotateurs résultent de traumatismes ou d'efforts violents qui excèdent la déformabilité tendineuse, mais aussi du cumul d'efforts et d'angles articulaires inconfortables ou extrêmes pendant des années ou des décennies. Il n'est d'ailleurs pas facile de distinguer les phénomènes dégénératifs des phénomènes traumatiques, le traumatisme révélant fréquemment un processus dégénératif antérieur. Les formes purement traumatiques sont, de ce fait, assez rares et concernent essentiellement les jeunes (accidents). Par ailleurs, les ruptures partielles de coiffe sont plus souvent masculines que féminines et les ruptures totales (transfixiantes) augmentent avec l'avancée en âge, notamment après 60 ans [36].

Parmi les facteurs professionnels, il convient de distinguer les facteurs de risques biomécaniques et les facteurs de risques psychosociaux. Des liens entre des facteurs biomécaniques tels qu'une flexion et une abduction répétées de l'épaule, un travail avec les mains au niveau ou au-dessus du plan des épaules, une sollicitation gestuelle excessive, un travail musculaire statique des membres supérieurs, des ports de charges lourdes (supérieures à 10 kg, à une main, sur une épaule, au niveau ou au-dessus des épaules), des efforts élevés, une répétitivité gestuelle ou encore une utilisation d'outils vibrants et la survenue de

SCR ont été bien documentés dans la littérature [1, 8, 31, 39 à 47]. La combinaison de facteurs biomécaniques multiplie le risque de survenue de pathologies de l'épaule [1, 44]. De plus, dans la cohorte française EDF-GDF GAZEL, des conséquences de lésions de l'épaule liées à l'exposition professionnelle à des facteurs biomécaniques sont encore observées 12 ans plus tard et ce, malgré un départ en retraite dans l'intervalle [43]. Mäkelä et al. [48] parviennent à un résultat identique. Cependant, la relation exposition-réponse mérite encore des approfondissements en ce qui concerne le SCR. Des facteurs psychosociaux défavorables à la santé ont aussi été identifiés : exigence psychologique élevée, faible latitude décisionnelle, faible soutien social, situation de travail passive ou bien fortement tendue (ces facteurs étant issus du modèle de Karasek), faible contrôle sur la tâche, faible soutien par la direction, conflit ou ambiguïté de rôle, travail stressant, monotone, insatisfaction au travail, isolement, hostilité, défaut de pauses. De nombreuses études montrent des relations entre ces facteurs et la survenue de SCR, *a fortiori* en association avec l'exposition à des facteurs biomécaniques [1, 8, 9, 31, 40, 42, 49 à 54].

Parmi les facteurs personnels, l'âge, le genre féminin, l'obésité, le diabète, la présence d'un autre TMS ou d'antécédents traumatiques ou encore la forme de l'acromion sont déterminants [31, 43, 54 à 57]. Les deux associations entre surpoids ou diabète et lésions scapulaires plaident en faveur d'un processus métabolique physiopathologique dans la genèse des lésions de l'épaule [57]. En revanche, le lien entre exercice physique et sports, d'une part, tabagisme, d'autre part et tendinopathie de l'épaule reste discuté [57]. Cependant, un style de vie actif [58], un entraînement physique approprié

et d'intensité modérée peuvent accroître les capacités fonctionnelles, au-delà d'un seuil minimal [42]. *A contrario*, une anxiété [52], une alexithymie (déficit de l'affect), un profil psychologique prédisposant au *burnout* (estime de soi basée sur la performance, épuisement) et une dépression constituent des facteurs de risque de plaintes musculo-squelettiques [39], notamment de l'épaule. Un mauvais score de vitalité ou de qualité de vie est aussi associé aux TMS du membre supérieur [59]. Une mauvaise santé générale perçue, un faible soutien social sont des éléments associés aux cas de SCR [49]. Par ailleurs, des liens sont établis entre des plaintes scapulaires et certaines pathologies telles qu'une cyphose thoracique, une ostéophytose acromio-claviculaire et gléno-humérale, des troubles de la conscience, un accident vasculaire cérébral, une polyneuropathie, une sclérose en plaques, une polyarthrite rhumatoïde, une fibromyalgie et une spondylarthrite ankylosante, ou encore un geste thérapeutique tel qu'une perfusion intraveineuse [31]. Enfin, des comorbidités articulaires fréquemment associées aux lésions de l'épaule sont des douleurs chroniques cervicales et lombaires ainsi que des arthropathies du genou et de la hanche [48].

Le déroulé temporel d'apparition d'un SCR semble toutefois difficilement prévisible. Certains symptômes et/ou signes physiques deviennent chroniques, alors que d'autres disparaissent. Ainsi, Aublet-Cuvelier et al. [60] ont rapporté, lors d'un suivi longitudinal sur 3 ans d'une population de salariés dans le secteur de l'électroménager, que, derrière une prévalence constante, peuvent se cacher des taux d'incidence et de récupération élevés. De même, Silverstein et al. [49] ont montré, lors d'une étude prospective sur un an, des parcours très va-

riables d'apparition et de disparition de la douleur ou de signes cliniques. Takala et al. [61] ont noté des variations saisonnières de la symptomatologie, avec une nette amélioration des symptômes scapulaires au printemps, notamment chez les sujets les plus jeunes. Quoi qu'il en soit, la moitié des récurrences scapulaires douloureuses ne récupère pas en 18 mois [62]. Les résultats de plusieurs études ont clairement montré un risque plus élevé de passer au statut de cas clinique avéré lorsque des symptômes sont présents un an auparavant. Selon les études, entre 30 % et 65 % des salariés présentant un SCR à un instant *t* rapportent des symptômes identiques ou aggravés un an plus tard [39, 49, 63], voire 3 à 5 ans plus tard [62, 64 à 66]. Ainsi, dans le secteur professionnel de la confection de vêtements, le diagnostic de SCR constitue un fort prédicteur de trouble chronique de l'épaule comportant douleur, incapacité et mauvaise santé générale perçue [67]. Dans ce secteur, un cas de SCR sur 13 seulement passe en rémission au bout d'un à deux ans. Ainsi, les facteurs de risque de survenue d'un SCR sont nombreux et divers, d'après la littérature existante assez stabilisée sur ce sujet.

FACTEURS PRONOSTIQUES DU SYNDROME DE LA COIFFE DES ROTATEURS

(tableau I page suivante)

Les facteurs pronostiques d'une pathologie désignent ce qui contribue à la persistance ou à l'aggravation d'une maladie ou d'une lésion et, inversement, ce qui contribue à la guérison ou à la rémission. Les facteurs pronostiques péjoratifs les plus fréquemment cités expliquant la chronicité des douleurs scapulaires, la durée d'incapacité

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :
particularités et problématique du retour à l'emploi

↓ **Tableau I**

➤ **FACTEURS DE MAUVAIS PRONOSTIC DU SYNDROME DE LA COIFFE DES ROTATEURS**

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| FACTEURS PROFESSIONNELS | Facteurs physiques | Travail manuel lourd |
| | | Sollicitations excessives biomécaniques, cumulées sur des décennies |
| | | Mains situées au-dessus du plan des épaules, de façon répétée ou prolongée |
| | | Vibrations du système main-bras |
| | | Absence de rotation des tâches |
| | Facteurs psychosociaux | Exigence psychologique élevée |
| | | Faible soutien social |
| | | Faible latitude décisionnelle |
| | | Faible contrôle sur le travail (marges de manœuvre) |
| | | Monotonie des tâches |
| | Contexte professionnel | Affects négatifs dans le travail |
| | | Pathologie scapulaire en lien présumé avec le travail |
| FACTEURS INDIVIDUELS | Déclaration en accident de travail ou en maladie professionnelle | |
| | | Âge |
| | | Sexe féminin |
| | | Atteinte du côté dominant |
| | | Cause dégénérative (non traumatique) |
| | | Cytokines inflammatoires dont la production est majorée en cas de stress, d'anxiété, de dépression, de douleur chronique |
| FACTEURS MÉDICAUX | | |
| | Arrêt de travail de longue durée avant un avis spécialisé pour la pathologie scapulaire | |
| | Arrêt de travail pré-opératoire, en cas de geste chirurgical | |
| | Douleur sévère (intense et/ou prolongée) | |
| | Restriction sévère des amplitudes articulaires | |
| | Comorbidités (obésité, diabète, lombalgie, maladies articulaires inflammatoires et dégénératives, maladies cardiovasculaires et pulmonaires...) | |
| FACTEURS PSYCHIQUES | | Dépression |
| | | Détresse psychologique |
| | | Croyances inappropriées à la situation |
| | | Peur-évitement |
| | | Kinésiophobie |
| | | Catastrophisme |
| FACTEURS SOCIAUX | | Situation sociale précaire |
| | | Sollicitude excessive de l'entourage familial |

et les difficultés de retour au travail portent sur des aspects professionnels et individuels. Sur le plan professionnel, et tout particulièrement sur les aspects physiques, plusieurs études ont montré qu'un travail manuel ou physique dur [11, 16, 23, 68, 69], des sollicitations excessives cumulées de l'épaule et/ou des postures avec la main au-dessus des

épaules [11, 17, 70, 71], l'exposition aux vibrations main-bras [72] et une absence de rotation des tâches constituent des facteurs pronostiques péjoratifs. Concernant les aspects psychosociaux, de rares études ont montré qu'une exigence psychologique élevée [63], un faible soutien social [63], une faible latitude décisionnelle [17], un faible contrôle sur

le travail [63], une monotonie des tâches [71] constituent des facteurs pronostiques péjoratifs, ainsi que des affects négatifs et éléments négatifs dans le contexte professionnel [72, 73]. Au plan biologique, Sakai et al. [74] ont souligné le rôle aggravant de cytokines inflammatoires et de facteurs de croissance dans l'inflammation de la bourse

sous-acromiale, des tendons et dans les ruptures de la coiffe des rotateurs de l'épaule, en complément des facteurs mécaniques de conflit dans un espace sous-acromial restreint. Or, l'état de stress et l'état dépressif majorent ces marqueurs d'inflammation, ainsi que la douleur chronique [75, 76], par l'intermédiaire de troubles de la microcirculation tissulaire, d'œdèmes et d'une augmentation du tonus musculaire [77]. Pour leur part, Razmjou et al. [78] ont notamment montré une prévalence importante de facteurs de risque psychosociaux associée à une augmentation de la douleur, de l'incapacité, de l'anxiété, de la dépression, ainsi qu'à des conséquences professionnelles fâcheuses chez des travailleurs atteints de TMS de l'épaule ou du coude. Sur le plan individuel, de nombreux facteurs ont été identifiés comme l'avancée en âge [18, 20, 25, 32, 63, 79], le sexe féminin [18, 20, 23, 25, 68], une atteinte du côté dominant [31, 32, 80], des symptômes de longue durée [79], une bursite chronique [23, 30], des soins tardifs [81], un antécédent d'arrêt de travail [18], un arrêt de longue durée avant un avis spécialisé [82], une cause non traumatique [18]. Il s'agit également d'une douleur sévère lors de la prise en charge médicale [30, 32, 79], d'une restriction sévère des amplitudes articulaires [32, 83], de comorbidités (obésité, diabète, douleurs du bas du dos, maladies articulaires inflammatoires et dégénératives, maladies cardiovasculaires et pulmonaires...) [25, 57, 84 à 86], de plaintes et symptômes psychiques (peur-évitement, catastrophisme, kinésiophobie, détresse psychologique) [66, 82, 87], d'une dépression [31, 85]. Il s'agit ensuite d'un arrêt de travail avant un geste chirurgical [25, 83] et d'un contexte professionnel de la pathologie [20, 22, 31]. De plus, la santé mentale pré-opératoire prédit le

succès de la réadaptation [88] et du retour au travail après chirurgie réparatrice de la coiffe des rotateurs [24]. Enfin, une situation sociale précaire n'est pas de bon pronostic [20, 32]. De manière générale, la pérennité de la douleur musculo-squelettique et l'état d'incapacité peuvent être liés à des traits cognitifs, comportementaux et dépressifs qui favorisent des styles adaptatifs inadéquats, marqués par une détresse psychologique, un catastrophisme, des croyances dénuées de fondement et des croyances de peur-évitement du mouvement. Une sollicitation excessive de l'entourage familial peut d'ailleurs renforcer ce comportement d'évitement de l'activité et de revendication du handicap [31].

Au final, les facteurs pronostiques défavorables du SCR sont très nombreux et apparentés aux facteurs de risque développés plus haut. Leur composante psychosociale n'est pas à négliger dans la prise en charge.

FACTEURS PRONOSTIQUES DU RETOUR AU TRAVAIL À LA SUITE D'UNE CHIRURGIE DE LA COIFFE DES ROTATEURS

(tableau II page suivante)

En préambule, il apparaît important d'apporter quelques éléments de précisions concernant la notion de retour au travail. En effet, les définitions du retour au travail relevées dans la littérature sont complexes et non consensuelles. Ainsi, Vogel et al. [89] considèrent comme « maintenu » un retour au travail pendant au moins trois mois consécutifs, tandis que Collin et al. [23] se réfèrent à 6 mois. Plusieurs auteurs se réfèrent au poste antérieur ou, au contraire, aménagé [23, 24, 68, 83, 90]. Certains auteurs considèrent le volume ho-

raire égal ou inférieur au niveau antérieur [21, 23, 89]. D'autres, comme Shields et al. [19], se réfèrent à une reprise à temps complet, tandis que Oyeflaten et al. [90, 91] et Imai et al. [68] prennent en compte un changement éventuel d'employeur. Enfin, de Vries et al. [92] définissent le retour au travail par une durée d'arrêt de travail liée à la pathologie musculo-squelettique sur les 6 derniers mois inférieure au seuil de 5 % du temps de travail annuel.

Le retour au travail, quelle que soit la cause de l'arrêt, est à considérer comme un processus [93] dynamique, séquentiel [94], non linéaire, souvent marqué de périodes de stagnation, de régression, d'abandon temporaire [95] et parfois de bifurcations [93]. Il en résulte des changements importants dans le psychisme et dans le parcours des personnes concernées, lorsque ce processus est long et semé d'embûches. C'est pourquoi de multiples facettes sont à considérer dans l'action de prévention, notamment les aspects psychosociaux dont la méconnaissance peut obérer le résultat du retour au travail.

Les facteurs pronostiques du retour au travail désignent ce qui contribue à l'échec du retour au travail (facteurs défavorables ou péjoratifs) et inversement, ce qui contribue au succès de ce retour (facteurs favorables ou de bon pronostic). Le présent paragraphe décrit successivement des facteurs de mauvais pronostic, des facteurs neutres et ceux de bon pronostic du retour au travail à la suite d'une chirurgie de la coiffe des rotateurs. Les cas les plus précoces et les moins graves de SCR sont pris en charge en médecine et kinésithérapie de ville et posent des difficultés de retour au travail encore maîtrisables. En revanche, les cas les plus lourds relèvent de la chirurgie et/ou de la médecine physique et de réadaptation ; ils posent

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :
particularités et problématique du retour à l'emploi

↓ **Tableau II**

► **FACTEURS PRONOSTIQUES DE RETOUR AU TRAVAIL APRÈS CHIRURGIE DE LA COIFFE DES ROTATEURS**

| | | |
|---|---|--|
| FACTEURS DE MAUVAIS PRONOSTIC | Facteurs professionnels | Travail manuel lourd |
| | | Reprise au poste antérieur manuel lourd sans aucun aménagement (contenu du travail, temps de travail, de façon transitoire ou pérenne) |
| | | Contentieux professionnel ou assurantiel |
| | | Contexte professionnel présumé de survenue ou d'entretien de la pathologie scapulaire |
| | | Accident de travail ou maladie professionnelle |
| | | Difficultés rencontrées lors du retour au travail : physiques, psychosociales, relationnelles... |
| | Facteurs médicaux | Arrêt de travail pré-opératoire, en cas de geste chirurgical |
| | | Absence de guérison du tendon opéré |
| | | Plusieurs tendons atteints (souvent chez les plus âgés) |
| | | Mauvais résultat fonctionnel de l'épaule opérée |
| | | Limitation des amplitudes articulaires |
| | | Difficultés rencontrées dans la vie quotidienne (handicap) |
| | | Intensité et/ou durée de la douleur |
| | | Complications douloureuses et enraidissantes (capsulite rétractile ou algodystrophie) |
| | Facteurs psychiques | Comorbidités (lombalgie, maladies articulaires inflammatoires et dégénératives, maladies cardiovasculaires et pulmonaires...) |
| | | Manque de confiance en l'avenir |
| | | Anxiété |
| | Facteurs sociaux | Dépression |
| | | Situations financière et sociale précaires |
| FACTEURS NEUTRES OU CONTROVERSÉS | Situation de demandeur d'emploi | |
| | Nature du tendon lésé | |
| | Taille de la déchirure, en cas de tendinopathie rompue de la coiffe des rotateurs | |
| FACTEURS DE BON PRONOSTIC | Facteurs professionnels | Technique chirurgicale arthroscopique ou à ciel ouvert |
| | | Niveau de formation et de qualification élevé |
| | | Possibilité de reprise d'une activité professionnelle |
| | | Statut socioprofessionnel pré-opératoire élevé |
| | | Attachement à l'entreprise |
| | | Investissement professionnel élevé |
| | | Importantes capacités d'adaptation |
| | | Aménagement de poste |
| | | Possibilité d'un reclassement professionnel |
| | | Visite de préreprise auprès du médecin du travail (préparant la reprise de travail) |
| | | Anticipation du retour au travail et accompagnement du maintien au travail |
| | | Approche multidisciplinaire coordonnée dans les cas complexes |
| | | Qualité de la coopération entre les divers acteurs du retour au travail |
| | Facteurs psychiques | Satisfaction du résultat des soins |
| Bonne santé mentale | | |
| Facteur extraprofessionnel | Sport sollicitant les membres supérieurs | |

de sérieuses difficultés de retour au travail, jusqu'à exposer à un risque d'exclusion de l'emploi et ensuite de désinsertion professionnelle.

Dans la littérature, le taux de non-retour au travail après chirurgie de la coiffe des rotateurs est très variable, 3,6 % [20], 11,5 % [21], 16,4 % [96], ou encore 40,5 % [22]. Il est rappelé que les durées moyennes d'arrêt pour un SCR varient considérablement selon les études, de 34 jours à plus de 300 jours.

Les facteurs de mauvais pronostic énumérés dans le présent paragraphe sont d'ordre médical, en particulier chez les travailleurs manuels lourds, d'ordre psychosocial et d'ordre professionnel. Parmi les facteurs de mauvais pronostic après chirurgie de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel, l'échec du processus est directement lié au résultat fonctionnel de l'épaule opérée dans 16 % des cas [22]. Selon Collin et al. [23], l'absence de guérison du tendon opéré est associée à l'incapacité de retour aux activités pour les travailleurs manuels lourds qui sont à haut risque de médiocres résultats de retour au travail. En effet, Creton [20], Nové-Josserand et al. [22], ainsi que Collin et al. [23] s'accordent sur un délai de retour au travail allongé chez les travailleurs manuels. Creton [20], étudiant le devenir socioprofessionnel de patients de moins de 45 ans opérés d'une rupture de la coiffe des rotateurs, note que les inaptitudes médicales au poste concernent 83 % des travailleurs manuels « lourds » inclus dans l'étude, déjà en situation d'inaptitude avant la chirurgie, dont les difficultés de retour au travail étaient prévisibles. De plus, la chirurgie de la coiffe des rotateurs, même réussie, ne restitue pas une épaule *ad integrum*, alors que Fouquet et al. [97] reconnaissent une spécificité du geste professionnel équivalente à celle du sportif de

haut niveau dans le travail manuel. La réparation tendineuse tend à restaurer une épaule fonctionnelle, mais ne restitue pas les capacités d'une épaule jeune et intègre, ce qui est problématique chez les travailleurs manuels. La durée d'arrêt de travail moyenne est également significativement allongée lorsque plusieurs tendons sont atteints (9,3 mois +/- 4 mois en cas de lésion d'un tendon, 12 +/- 7 mois en cas de lésion de deux tendons, 15,3 +/- 4 mois en cas de lésion de trois tendons), d'après Nové-Josserand et al. [22]. Selon ces auteurs, les patients opérés de plusieurs tendons sont, d'ailleurs, significativement plus âgés que ceux opérés d'un seul. Le retrait du travail paraît, dans cette situation, le choix le plus commun à partir de 55 ans : 4/5^e ne retournent pas au travail. De plus, Fouquet et al. [97] soulignent combien l'insatisfaction des patients augmente avec l'importance de la lésion initiale, la limitation des amplitudes articulaires, les difficultés rencontrées dans les activités de la vie quotidienne et avec l'importance de la douleur. Creton [20] mentionne un arrêt de travail pré-opératoire, une complication post-opératoire telle qu'une algodystrophie (affection des membres, survenant au décours d'une chirurgie ou d'un traumatisme, douloureuse et invalidante, réduisant les capacités fonctionnelles et le bien-être psychologique) ou une capsulite rétractile (inflammation et rétraction de la capsule articulaire, à l'origine d'une sévère restriction des amplitudes articulaires) comme des facteurs d'allongement de la durée d'arrêt de travail et de mauvais pronostic du résultat de retour au travail après chirurgie de l'épaule¹. Plus encore, Harryman et al. [84] soulignent qu'au-delà de l'épaule, des comorbidités associées, d'ordre médical (lombalgies, maladies articulaires inflammatoires et

dégénératives, maladies cardiovasculaires et pulmonaires...) et d'ordre social (niveau d'indemnisation, réclamation d'indemnisation...), exercent une influence importante sur l'histoire naturelle de la maladie. Au plan psychosocial, Strube et al. [88] ont identifié des facteurs influençant négativement le résultat de la réadaptation à la suite d'une chirurgie arthroscopique de l'épaule : il s'agit du statut de demandeur d'emploi, de scores d'anxiété et de dépression élevés et de difficultés éprouvées lors du retour au travail. Une situation sociale et financière précaire et un manque de confiance en l'avenir aggravent encore la situation [20].

Dans le domaine professionnel, le contexte professionnel de la maladie (déclaration en accident de travail ou maladie professionnelle) apparaît comme lié à l'allongement du délai de retour au travail [18, 23]. Les victimes d'accidents du travail et de maladies professionnelles de l'épaule reprennent le travail en moyenne 5 mois plus tard que les patients en arrêt de travail pour une maladie non professionnelle de l'épaule [20]. L'existence d'un contentieux, professionnel ou assurantiel, augmente également le délai de retour au travail [19]. Plus préoccupant encore, Creton [20] souligne que la reprise d'un salarié au même poste de travail, soumis aux mêmes contraintes mécaniques répétées, n'a aucun sens au plan de la prévention. Or, cette situation est relativement fréquente en pratique, compte tenu des difficultés d'aménagement des postes manuels les plus exigeants pour l'épaule et de l'âge des personnes opérées, le plus souvent après 40 ans [22], peu favorable à une reconversion professionnelle. En conséquence, Creton [20] montre que les facteurs prédictifs d'inaptitude médicale au poste sont constitués d'un travail

1. Ces deux complications retardent le retour aux activités habituelles mais guérissent généralement sans laisser de séquelles au bout de quelques mois.

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :

particularités et problématique du retour à l'emploi

manuel lourd et d'un arrêt de travail pré-opératoire (60 % des personnes médicalement inaptes au retour au travail après chirurgie étaient en arrêt de travail avant le geste opératoire). En d'autres termes, existait un problème de compatibilité entre le poste de travail et l'état de santé du salarié que la chirurgie n'a pas influencé.

En ce qui concerne des facteurs pronostiques neutres ou controversés, la nature du tendon lésé (supra-épineux, infra-épineux ou sous-scapulaire) n'apparaît pas comme un facteur affectant le résultat du retour au travail [20, 22]. De plus, Harryman et al. [84] soulignent qu'en cas de rupture de la coiffe des rotateurs, la taille de la déchirure ne rend bien compte ni de la fonction scapulaire, ni de l'état de santé. Enfin, une technique chirurgicale arthroscopique réduirait le délai de retour au travail par rapport à une technique à ciel ouvert [21, 22], ce que Shields et al. [19] ne confirment pas.

Dans le domaine des facteurs de bon pronostic, Fouquet et al. [97] montrent que la satisfaction des patients par rapport au résultat des soins dépend de la possibilité de reprendre une activité professionnelle, elle-même déterminée par le statut socioprofessionnel pré-opératoire. De plus, Gowd et al. [24] soulignent qu'une bonne santé mentale est associée à un bon résultat du retour au travail après chirurgie réparatrice de la coiffe des rotateurs. Creton [20] a identifié d'autres facteurs qui préfiguraient une issue favorable. Il s'agit de la pratique d'un sport sollicitant les membres supérieurs, d'un niveau de formation et de qualification élevé, d'un attachement à l'entreprise et d'un investissement professionnel forts ainsi que d'importantes capacités d'adaptation et un aménagement de poste ou un reclassement professionnel. Une visite médicale du

travail de préreprise préparant une modification des conditions du retour au travail revêt également une valeur pronostique favorable. L'auteure préconise une réelle anticipation du retour et du maintien au travail, ainsi qu'une approche multidisciplinaire coordonnée accompagnée de liens renforcés entre le médecin du travail et les médecins spécialistes gravitant autour du salarié-patient.

La multiplicité des déterminants du retour au travail dans les suites d'une chirurgie du SCR ne facilite ainsi pas la comparaison des résultats après un geste chirurgical.

REPÈRES DE PRISE EN CHARGE D'UN SYNDROME DE LA COIFFE DES ROTATEURS EN VUE D'UN RETOUR AU TRAVAIL RÉUSSI

Peu d'études ont été conduites sur les conditions de succès d'un retour au travail suite à un SCR, qu'il ait été ou non opéré. La rééducation de l'épaule consécutivement à un SCR semble généralement s'appuyer sur l'évaluation clinique et le traitement individualisé [98]. Toutefois, Shaw et al. [99], dans le cadre d'une étude rétrospective de cas conduite sur 184 salariés en milieu industriel, mettent en avant l'intérêt d'un suivi individualisé qui s'appuie sur des aménagements du travail et de son organisation. Le principal enseignement de cette étude est le suivant : plus vite un travailleur obtient un aménagement de son travail, plus rapidement survient le retour au travail et plus ce retour au travail a de chances d'être pérenne. La nécessité d'un approfondissement des connaissances sur la façon dont s'organisent les collaborations entre différents acteurs gra-

vitant autour du retour au travail (c'est-à-dire l'employeur, le salarié, l'encadrement, les professionnels de santé et du handicap) est soulignée par les auteurs. En effet, Baril et al. [95], ainsi que Dekkers-Sanchez et al. [100], considèrent que l'action concertée et cohérente des différents partenaires impliqués dans un processus de réadaptation professionnelle constitue l'élément clé du succès du retour au travail. Il s'agit alors d'un plan de retour au travail comportant plusieurs volets et de nombreux leviers d'action. Aucune action isolée ne suffit à garantir un succès, alors qu'une stratégie globale qui dispose le salarié et le milieu de travail au centre du processus de retour, comme acteurs du changement, a de meilleures chances de succès, sous certaines conditions de transparence et d'adhésion des parties prenantes. Il s'agit de considérer de façon globale la situation de travail incluant le travailleur, l'employeur, l'environnement physique de travail et les tâches à effectuer [101]. De même, Cheng et Hung [102], dans une étude portant sur des salariés souffrant d'un SCR et en arrêt de travail depuis plus de 90 jours, montrent qu'un programme de réadaptation basé sur une intervention en entreprise semble apporter de meilleurs résultats qu'un programme clinique classique, en termes de taux de retour au travail à 4 mois, de douleur perçue et d'amélioration des capacités fonctionnelles. Cependant, les études ayant évalué les modifications ergonomiques ou l'organisation du travail donnent des résultats contradictoires [103]. Davantage d'études de meilleure qualité seraient nécessaires pour statuer sur l'efficacité réelle de ces interventions [103]. L'ensemble de ces auteurs évoque aussi la nécessité d'une évaluation à plus long terme de tels programmes, la diffi-

culté de contrôler les nombreuses variables intervenant dans le processus de retour au travail et, enfin, la difficulté d'implanter un programme de retour au travail dans les petites et moyennes entreprises. Les possibilités de reclassement à un autre poste ou d'aménagement du poste de travail y sont, en effet, souvent limitées. Si l'approche fonctionnelle jumelée à une approche biopsychosociale a fait ses preuves dans une population souffrant de lombalgie [104], les données de la littérature [103] ne permettent pas de généraliser les résultats obtenus pour la lombalgie aux travailleurs souffrant de SCR, d'autant plus que de nombreuses études incluent dans leurs résultats les symptômes de la nuque ou de l'ensemble du membre supérieur, pas seulement de l'épaule.

En somme, les résultats des études internationales concernant le SCR sont globalement favorables à l'utilisation de programmes d'exercices de rééducation afin de réduire la douleur [103, 105, 106]. Des données probantes de faible niveau préconisent une approche multimodale comprenant des conseils, des exercices, la modification et l'adaptation des tâches au travail [103]. En revanche, l'effet préventif d'un programme d'exercices dans une population de travailleurs asymptomatiques reste discuté [103, 107, 108].

PRINCIPAUX OBSTACLES RENCONTRÉS DANS LE PARCOURS DE RETOUR AU TRAVAIL

L'état de l'art ci-dessus montre que les atteintes de l'épaule de type SCR sont fréquentes, invalidantes et qu'elles représentent un coût élevé pour les salariés concernés, pour l'entreprise et pour l'assurance ma-

ladie, avec notamment des arrêts de travail de longue durée, assortis d'un risque élevé de perte d'emploi et de désinsertion professionnelle. Ce constat préoccupant concerne tout particulièrement des travailleurs manuels dont l'efficacité repose d'abord sur la performance physique et dont l'employabilité demeure faible, surtout après 45 ans, en dehors de leur compétence professionnelle spécialisée exercée jusqu'alors. La récupération de capacités fonctionnelles suffisantes pour reprendre l'activité antérieure s'avère cruciale. Le travailleur blessé bénéficie, temporairement, assez fréquemment mais pas systématiquement, d'un retour au travail à temps partiel (temps partiel thérapeutique dans le système français); il faut en effet l'accord de l'employeur et de la caisse d'assurance maladie pour le mettre en place. Shiri et al. [109] considèrent ce chemin comme le plus rapide pour parvenir à un retour au travail durable; Martimo et al. [110] jugent cette mesure temporaire efficace et rentable à un stade précoce de gestion des TMS. Lorsqu'il est possible, cet aménagement transitoire facilite le retour au travail après chirurgie de l'épaule, notamment chez les travailleurs manuels lourds.

En France, les difficultés d'un parcours de retour au travail les plus fréquemment rencontrées portent notamment sur l'aménagement réel des conditions et des postes de travail, sur la visite médicale de préreprise auprès du médecin du travail la plus systématique possible et sur le délai de reprise du travail fixé par le praticien-conseil de l'assurance maladie. En effet, les petites et moyennes entreprises peuvent éprouver de grandes difficultés à aménager temporairement ou durablement les conditions et les postes de travail, ainsi qu'à s'engager dans des actions durables de

prévention primaire ou secondaire des risques professionnels. Pourtant, un travailleur reprend plus facilement ses tâches habituelles s'il réintègre précocement son milieu de travail et voit ses tâches adaptées à sa condition [103, 111]. Il s'agit alors d'une organisation du travail étayante (soutenante) qui accepte d'aménager les tâches et contribue ainsi à accroître le sentiment d'efficacité personnelle du patient [112]. En France, la visite de préreprise vise à anticiper la reprise du travail et à évaluer les obstacles et les solutions possibles pour un retour au travail couronné de succès, mais elle demeure souvent trop tardive, voire absente, pour de multiples raisons. Pour sa part, le praticien-conseil de l'assurance maladie se réfère en accident du travail ou en maladie professionnelle à une notion de consolidation de la lésion, mal comprise par les salariés, au stade de séquelles stables ne justifiant plus la prolongation de l'arrêt de travail et conduisant à une date de reprise fixée. Le praticien-conseil se prononce sur la reprise d'une activité professionnelle au sens général, qui n'est pas forcément le poste de travail jusqu'alors occupé par le salarié. Le concept générique du travail auquel se réfère le praticien-conseil n'est pas le poste de travail auquel se réfère le médecin du travail, ces nuances étant généralement mal connues du salarié. La reprise de travail est alors redoutée, voire contestée par un salarié en arrêt de travail depuis de nombreux mois, durant lesquels la question du travail a été éludée. C'est particulièrement vrai pour les travailleurs manuels lourds, dont le délai de retour au travail est souvent allongé par rapport aux travailleurs peu manuels, afin de récupérer des capacités suffisantes pour se confronter à un poste de travail très sollicitant pour les épaules. Huijs et al. [113] soulignent l'impor-

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :

particularités et problématique du retour à l'emploi

tance de parler tôt du retour au travail en cours d'arrêt de travail. Selon Blyth et al. [114], par ailleurs, un litige passé ou présent (notamment dans le cadre du travail) est fortement associé avec un niveau élevé d'incapacité liée à la douleur, même en considérant d'autres facteurs associés à des résultats fonctionnels médiocres. Cela confirme que cibler la thérapeutique sur la disparition de la douleur sans prendre en compte l'aspect juridique, social et professionnel ne suffit pas. De plus, la reprise s'effectue au sein d'une entreprise dont les exigences de compétences et les modes de production ont fréquemment évolué durant un arrêt de travail prolongé de son salarié.

En somme, le facteur temporel est déterminant pour l'entreprise et pour l'assurance maladie, alors que la priorité du salarié à son retour porte sur des capacités restantes à mobiliser, à préserver, et sur une reprise progressive des activités professionnelles. Il en résulte donc des attentes divergentes entre les différentes parties.

En France, dans une situation de ce type, une inaptitude médicale, un reclassement professionnel ou un aménagement du poste de travail, demandés par le médecin du travail, visent à éviter l'aggravation du handicap par la reprise, sans transition ni compromis, au poste antérieur fortement sollicitant pour l'épaule au plan biomécanique. Il n'en demeure pas moins que cette mesure risque de conduire à une perte d'emploi vécue dans l'impuissance à la fois par le salarié, par l'employeur et par le service de santé au travail. Par ailleurs, l'ingénierie du maintien dans l'emploi et de la reconversion professionnelle, en France, repose actuellement sur de nombreux acteurs peu coordonnés, dont l'activation au moment optimal n'est pas facile, parfois trop précoce

ou trop tardive ; trop précoce par rapport à la prise de conscience et l'acceptation du handicap et de ses conséquences par le salarié ; inversement trop tardive par rapport aux étapes incontournables requises pour redéfinir un projet professionnel assorti d'aménagements relevant de la compensation du handicap. Plus encore, la coordination des actions, très chronophage, repose en pratique sur des médecins du travail peu nombreux et surchargés d'autres tâches que le maintien dans l'emploi ou en emploi (autre que l'emploi antérieur). Cet axe de prévention devrait pourtant constituer une priorité d'organisation des services de santé au travail, en étroite coordination avec tous les acteurs du retour au travail et du maintien dans l'emploi ou en emploi. L'accord national interprofessionnel qui vient d'être conclu par les partenaires sociaux en vue de la réforme de la santé au travail apporte une réponse à cette difficulté². La coopération au sein du trinôme « médecin traitant, praticien-conseil de l'assurance maladie et médecin du travail », menée loyalement et dans l'intérêt du patient-salarié, est cruciale pour le succès du retour au travail ou du maintien dans ou en emploi. Cette coopération se heurte fréquemment à la préservation du secret professionnel. Elle est vouée à l'échec lorsque l'intérêt supérieur du patient-salarié n'est pas placé à l'origine et à la fin de la démarche, chaque partie se retranchant alors dans son seul intérêt et faisant porter à l'autre partie la responsabilité de cet échec. Le fréquent retard dans l'activation de démarches orientées vers le maintien dans l'emploi, ou bien la reconversion professionnelle, constitue bel et bien une perte de chances de réinsertion professionnelle pour le salarié. L'employeur s'expose également au risque de judiciarisation de cette

situation d'échec. Les difficultés économiques actuelles augmentent les tensions rencontrées dans l'aménagement des postes de travail, tout en invitant les chercheurs à mener d'autres travaux validant des modalités nouvelles de prise en charge des travailleurs concernés, ainsi que l'ensemble des acteurs de la prévention à un fort engagement envers les patients-salariés confrontés à des pathologies potentiellement invalidantes de l'épaule.

Au final, les obstacles qui se dressent sur le processus de retour au travail de nombreux travailleurs atteints de SCR sont à considérer avec détermination et sans concession. Cela nécessite une réelle politique de prévention des risques professionnels soutenant et guidant les acteurs de terrain de façon coordonnée.

PERSPECTIVES

2. Accord national interprofessionnel du 26 novembre 2020 pour une mise en œuvre réussie du télétravail

Creton [20] préconise une réelle anticipation du retour et du maintien à l'emploi, ainsi qu'une approche multidisciplinaire coordonnée accompagnée de liens renforcés entre les différents acteurs du retour au travail, du maintien dans l'emploi actuel et en emploi (sous d'autres modalités ou dans une autre entreprise). Cela est d'autant plus urgent que les obstacles au processus de retour au travail concernent tout particulièrement des travailleurs de plus de 40 ans dont le métier manuel est particulièrement sollicitant et peu favorable à des aménagements lors du retour et que la récupération de bonnes capacités fonctionnelles post-opératoires est retardée, voire impossible.

Il est prouvé que des interventions classiques ne suffisent pas à obtenir un retour au travail durable. Des interventions multimodales sont nécessaires pour prendre en

compte les exigences physiques et psychosociales au travail. Van der Molen et al. [72] estiment probable que des facteurs psychosociaux jouent un rôle intermédiaire et soient à cibler dans des actions de prévention en milieu de travail. Burton et al. [115], d'ailleurs, préconisent que les interventions en milieu de travail relatives aux TMS du membre supérieur intègrent systématiquement les facteurs de risque psychosociaux. De plus, des services de réadaptation professionnelle plus efficaces et une prévention des contentieux aideraient les patients à retourner au travail plus tôt [19]. Pour leur part, Sirén et al. [11] considèrent qu'une proportion considérable de mises en retraite pour incapacité en lien avec une lésion scapulaire pourrait être prévenue en réduisant les expositions physiques et psychosociales professionnelles à un bas niveau. Selon ces auteurs, existe un grand potentiel à prolonger ainsi les carrières professionnelles, dans des conditions de travail réellement soutenables. Aptel et Vézina [116], ainsi que Roquelaure [117], prônent une approche dynamique, globale et intégrée de la prévention des TMS, privilégiant la réduction des risques à la source, le dépistage et la prise en charge précoce des travailleurs et, si nécessaire, une intervention de maintien en emploi. Tout cela n'est pas sans rappeler l'élaboration, il y a plus de 30 ans, du modèle biopsychosocial du mal de dos, qui a conceptualisé l'étiologie et le pronostic de la lombalgie commune [118]. De son côté, Durand [119] a pointé le rôle du morcellement des approches médicales et disciplinaires des TMS dans l'explication de résultats de prévention et de soins mitigés obtenus ces 20 dernières années. Durand et al. [120] ont montré combien les processus de réadaptation au travail d'une personne en incapacité pro-

longée d'origine musculosquelettique ne sont ni linéaires, ni entièrement prévisibles. De plus, le succès de l'implantation de programmes de réadaptation professionnelle repose avant tout sur une collaboration soutenue et une négociation presque quotidienne entre les différents partenaires impliqués [121]. Dans ce cadre, un retour thérapeutique au travail est préconisé, qui intègre rapidement au programme de réadaptation le retour supervisé du travailleur blessé à son poste de travail régulier [122]. Encore faut-il s'appuyer sur des facteurs facilitant le retour au travail et travailler sur les obstacles à ce retour. C'est pourquoi Peters et al. [123] ont établi un consensus sur les barrières et facilitateurs du retour au travail suite à une chirurgie de TMS du membre supérieur. Six barrières ont été repérées : des troubles de l'humeur, des symptômes sur plus d'un site musculo-squelettique, des efforts physiques durs du membre supérieur, un défaut de flexibilité dans l'aménagement des tâches lors du retour au travail, un défaut de soutien de l'encadrement et un niveau élevé de catastrophisme douloureux. Inversement, 12 facteurs facilitants ont été identifiés : la motivation au retour au travail, un sentiment élevé d'efficacité personnelle, la possibilité d'un aménagement de poste, une flexibilité des aménagements, des facultés d'adaptation, une limitation des efforts physiques durs, une politique de retour au travail encourageante, le soutien de l'encadrement, l'absence de catastrophisme et de croyances de peur-évitement envers le retour au travail, envers l'activité (ou la douleur), l'affectation à des tâches adaptées à la situation et la satisfaction au travail. En dépit de ces perspectives, l'état de l'art montre des lacunes dans la description des ressorts sous-jacents aux processus de retour au

travail, de maintien dans l'emploi tenu ou plus largement en emploi, de réinsertion professionnelle, ou bien de reconversion. Par ailleurs, les mécanismes subjectifs préfigurant un succès du parcours de retour au travail ou d'une reconversion pourraient être mieux décrits. Il existe d'autres lacunes dans la connaissance des processus de décrochage puis de désinsertion professionnelle. Enfin, l'impact favorable de conditions de travail réellement aménagées sur le résultat de retour au travail à moyen terme n'est pas encore assez visible dans la littérature scientifique et dans le monde du travail.

CONCLUSION

Si la littérature scientifique sur le SCR est déjà conséquente, comme en témoigne cette revue narrative, d'autres études seraient nécessaires sur les facteurs pronostiques du retour au travail dans cette situation pathologique. Il s'agit de faciliter un retour au travail soutenable et durable, processus actuellement grevé de fort nombreux échecs. En effet, les contraintes pesant sur le processus de retour au travail ne sont encore que partiellement élucidées ; les outils d'alerte plus précoce et d'exploration du processus de retour au travail après une lésion de l'épaule restent à clarifier et à développer. Par exemple, l'usage d'échelles visuelles analogiques de la douleur et de questions issues d'outils validés relatifs à l'épaule serait à développer en pratique médicale et paramédicale quotidienne en santé au travail. De plus, un suivi adapté de cette population particulièrement exposée au risque de lésions scapulaires dans de nombreux secteurs d'activité à l'aide d'outils

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :

particularités et problématique du retour à l'emploi

spécifiques serait à promouvoir. À un stade ultérieur dans l'histoire de la maladie, l'alerte effectuée par le médecin du travail sur la nécessité d'un aménagement de poste n'est pas toujours suivie d'effet, loin s'en faut. Or, l'absence d'aménagement trop souvent constatée en pratique dans l'entreprise demeure un non-sens au plan de la prévention d'une rechute ou d'une aggravation d'une lésion de l'épaule. Il s'agit de prévenir des situations de désinsertion professionnelle conduisant à une perte d'espérance de vie au travail. Cette prévention conduite à travers un aménagement du tra-

vail, notamment une reprise de travail graduelle, un reclassement professionnel ou une reconversion s'avère largement perfectible, dans un contexte d'allongement des carrières professionnelles. C'est particulièrement vrai pour les travailleurs manuels lourds qui paient un lourd tribut aux pathologies dégénératives de l'épaule.

En amont de ces mesures de prévention de niveau secondaire et tertiaire, une politique énergétique de prévention primaire serait à promouvoir et à implanter. En effet, les tendinopathies non rompues, puis rompues, de la coiffe des rotateurs

résultent généralement d'années ou de décennies d'exposition professionnelle à des sollicitations excessives biomécaniques et psychosociales. La promotion de conditions de travail durablement soutenables et compatibles avec la physiologie de l'épaule, dès le début de la carrière professionnelle, est importante aujourd'hui pour prévenir les pathologies de demain.

POINTS À RETENIR

- Les pathologies de la coiffe des rotateurs représentent un problème de santé fréquent, invalidant et coûteux.
- Ils sont une source de handicaps et de pertes d'emploi.
- Le retour au travail est souvent semé d'embûches.
- De nombreux facteurs de risque et facteurs pronostiques de ces pathologies sont connus.
- Des actions de prévention ambitieuses et coordonnées sont nécessaires.
- Les facteurs de risque psychosociaux devraient être intégrés dans la démarche de prévention.
- La prévention des contentieux, quand elle est possible, favorise le retour en emploi.
- La promotion de conditions de travail soutenables pour l'épaule est à développer.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | VAN RIJN RM, HUISSTEDDE BM, KOES BW, BURDORF A - Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder. A systematic review of the literature. *Scand J Work Environ Health*. 2010 ; 36 (3) : 189-201.
- 2 | TMS : prévalence, coûts et données démographiques dans l'UE. Eurogip, 2019 (<https://eurogip.fr/tms-prevalence-couts-et-donnees-demographiques-dans-lue/>).
- 3 | Rapport annuel 2018. L'assurance maladie risques professionnels. Assurance Maladie, 2019 (https://assurance-maladie.ameli.fr/sites/default/files/rapport_annuel_2018_assurance_maladie_risques_pro.pdf).
- 4 | LEWIS J, MCCREESH K, ROY JS, GINN K - Rotator Cuff Tendinopathy: Navigating the Diagnosis-Management Conundrum. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015 ; 45 (11) : 923-37.
- 5 | LUIME JJ, KOES BW, HENDRIKSEN IJM, BURDORF A ET AL. - Prevalence and incidence of shoulder pain in the general population; a systematic review. *Scand J Rheumatol*. 2004 ; 33 (2) : 73-81.
- 6 | LEWIS JS - Rotator cuff tendinopathy. *Br J Sports Med*. 2009 ; 43 (4) : 236-41.
- 7 | SHIRI R, VARONEN H, HELIÖVAARA M, VIKKARI-JUNTURA E - Hand dominance in upper extremity musculoskeletal disorders. *J Rheumatol*. 2007 ; 34 (5) : 1076-82.
- 8 | ROQUELAURE Y, BODIN J, HA C, PETIT LE MANAC'H A ET AL. - Personal, biomechanical, and psychosocial risk factors for rotator cuff syndrome in a working population. *Scand J Work Environ Health*. 2011 ; 37 (6) : 502-11.
- 9 | BODIN J, HA C, CHASTANG JF, DESCATHA A ET AL. - Comparison of risk factors for shoulder pain and rotator cuff syndrome in the working population. *Am J Ind Med*. 2012 ; 55 (7) : 605-15.
- 10 | CARTON M, SANTIN G, LECLERC A, GUEGEN A ET AL. - Prévalence des troubles musculosquelettiques et des facteurs biomécaniques d'origine professionnelle : premières estimations à partir de Constances. *Bull Epidémiol Hebd*. 2016 ; 35-36 : 630-39.
- 11 | SIRÉN M, VIKKARI-JUNTURA E, AROKOSKI J, SOLOVIEVA S - Physical and psychosocial work exposures as risk factors for disability retirement due to a shoulder lesion. *Occup Environ Med*. 2019 ; 76 (11), 793-800.
- 12 | RIVIÈRE S, MARTINAUD C, ROQUELAURE Y, CHATELOT J - Estimation de la sous-déclaration des troubles musculo-squelettiques : mise à jour pour 2011 dans onze régions françaises. *Bull Epidémiol Hebd*. 2018 ; 18 : 373-78.
- 13 | Troubles musculosquelettiques (TMS). INRS, 2015 (<https://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>).
- 14 | OKUNRIBIDO O, WYNN T - Ageing and work-related musculoskeletal disorders. A review of the recent literature. Research Report RR799. Health and Safety Executive (HSE), 2010 (<https://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr799.htm>).
- 15 | Rapport de gestion 2012. Caisse nationale de l'Assurance maladie des travailleurs salariés (CNAMTS), 2013 (http://www.risquesprofessionnels.ameli.fr/fileadmin/user_upload/document_PDF_a_telecharger/brochures/Rapport_gestion_2012.pdf).
- 16 | PEKKALA J, RAHKONEN O, PIETILÄINEN O, LAHELMA E ET AL. - Sickness absence due to different musculoskeletal diagnoses by occupational class: a register-based study among 1.2 million Finnish employees. *Occup Environ Med*. 2018. 75 (4) : 296-302.
- 17 | BODIN J, HA C, PETIT A, DESCATHA A ET AL. - Natural course of rotator cuff syndrome in a French working population. *Am J Ind Med*. 2014 ; 57 (6) : 683-94.
- 18 | DESMEULES F, BRAËN C, LAMONTAGNE M, DIONNE CE ET AL. - Determinants and predictors of absenteeism and return-to-work in workers with shoulder disorders. *Work*. 2016 ; 55 (1) : 101-13.
- 19 | SHIELDS E, THIRUKUMARAN C, NOYES K, VOLOSHIN I - A Review of a Workers' Compensation Database 2003 to 2013: Patient Factors Influencing Return to Work and Cumulative Financial Claims After Rotator Cuff Repair in Geriatric Workers' Compensation Cases. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2017 ; 8 (4) : 208-14.
- 20 | CRETON M - Devenir professionnel des patients de moins de 45 ans opérés d'une rupture de la coiffe des rotateurs, identification des facteurs prédictifs de retour au travail : à propos de 53 cas. Thèse pour obtenir le grade de docteur en médecine. Nancy : Université Henri Poincaré Nancy 1, Faculté de médecine de Nancy ; 2009 : 156 p.
- 21 | BHATIA S, PIASECKI DP, NHO SJ, ROMEO AA ET AL. - Early return to work in workers' compensation patients after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair. *Arthroscopy*. 2010 ; 26 (8) : 1027-34.
- 22 | NOVÉ-JOSSERAND L, LIOTARD JP, GODENECHÉ A, NEYTON L ET AL. - Occupational outcome after surgery in patients with a rotator cuff tear due to a work-related injury or occupational disease. A series of 262 cases. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2011 ; 97 (4) : 361-66.
- 23 | COLLIN P, ABDULLAH A, KHERAD O, GAIN S ET AL. - Prospective evaluation of clinical and radiologic factors predicting return to activity within 6 months after arthroscopic rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg*. 2015 ; 24 (3) : 439-45.
- 24 | GOWD AK, CVETANOVICH GL, LIU JN, NWACHUKWU BU ET AL. - Preoperative Mental Health Scores and Achieving Patient Acceptable Symptom State Are Predictive of Return to Work After Arthroscopic Rotator Cuff Repair. *Orthop J Sports Med*. 2019 ; 7 (10) : 2325967119878415.
- 25 | VON KNOCH M, ENDERS D, SCHLOTHAUER NI, KLINGER HM ET AL. - Duration of sick leave after shoulder arthroscopy in Germany: analysis of health care data. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2016 ; 136 (6) : 843-48.
- 26 | SIRÉN M, VIKKARI-JUNTURA E, AROKOSKI J, SOLOVIEVA S - Work

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :

particularités et problématique du retour à l'emploi

BIBLIOGRAPHIE (suite)

- participation and working life expectancy after a disabling shoulder lesion. *Occup Environ Med.* 2019 ; 76 (6) : 363-69.
- 27 | RIVIÈRE S, CHEVALIER A, PENVEN E, CADEAC-BIRMAN H ET AL. - Approche de la sous-déclaration des troubles musculo-squelettiques dans sept régions françaises en 2007. *Bull Epidemiol Hebd.* 2012 ; 22-23 : 268-71.
- 28 | APTEL M, AUBLET-CUVELIER A - Prévenir les troubles musculosquelettiques du membre supérieur : un enjeu social et économique. *Santé Publique.* 2005 ; 17 (3) : 455-69.
- 29 | CHIRON E, ROQUELAURE Y, HA C, TOURANCHET A ET AL. - Les TMS et le maintien en emploi des salariés de 50 ans et plus : un défi pour la santé au travail et la santé publique. *Santé Publique.* 2008 ; 20 (Suppl 3) : S19-28.
- 30 | VAN DER WINDT DA, KOES BW, BOEKE AJ, DEVILLÉ W ET AL. - Shoulder disorders in general practice: prognostic indicators of outcome. *Br J Gen Pract.* 1996 ; 46 (410) : 519-23.
- 31 | VAN DER HEIJDEN GJ - Shoulder disorders: a state-of-the-art review. *Baillieres Best Pract Res Clin Rheumatol.* 1999 ; 13 (2) : 287-309.
- 32 | HÉBERT LJ - Déficiences et incapacités associées au syndrome d'abutement de l'épaule et évaluation de leurs inter-relations. Thèse pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph D). Québec : Faculté de Médecine, Médecine expérimentale, Faculté des études supérieures de l'Université Laval ; 2001 : 273 p.
- 33 | DOIRON Y - Utilisation d'un modèle biomécanique pour quantifier les stratégies cinétiques d'un syndrome d'abutement de l'épaule. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en kinésiologie pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.). Québec : Département de médecine sociale et préventive, Faculté de Médecine, Université Laval ; 2007 : 110 p.
- 34 | NEER CS^{2ND} - Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg Am.* 1972 ; 54 (1) : 41-50.
- 35 | SVENDSEN SW, DALBØGE A, ANDERSEN JH, THOMSEN JF ET AL. - Risk of surgery for subacromial impingement syndrome in relation to neck-shoulder complaints and occupational biomechanical exposures: a longitudinal study. *Scand J Work Environ Health.* 2013 ; 39 (6) : 568-77.
- 36 | HARVEY D - The diagnosis of subacromial impingement syndrome and associated pathology in the primary care setting. Thesis for the Master of Health Science. Auckland : Auckland University of Technology, School of physiotherapy ; 2009 : 118 p.
- 37 | DE MARCO F, RICCI MG, BONAIUTI D - Clinical trials among worker populations: the value and significance of anamnestic findings and clinical and instrumental tests for diagnosing work-related musculoskeletal disorders of the upper limbs (WMSDs). *Ergonomics.* 1998 ; 41 (9) : 1322-39.
- 38 | MULROY SJ, GRONLEY JK, NEWSAM CJ, PERRY J - Electromyographic activity of shoulder muscles during wheelchair propulsion by paraplegic persons. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996 ; 77 (2), 187-93.
- 39 | MIRANDA H, VIKARI-JUNTURA E, HEISTARO S, HELIÖVAARA M ET AL. - A population study on differences in the determinants of a specific nonspecific shoulder pain without clinical findings. *Am J Epidemiol.* 2005 ; 161 (9) : 847-55.
- 40 | SILVERSTEIN BA, BAO SS, FAN ZJ, HOWARD N ET AL. - Rotator cuff syndrome: personal, work-related psychosocial and physical load factors. *J Occup Environ Med.* 2008 ; 50 (9) : 1062-76.
- 41 | FROST P, BONDE JPE, MIKKELSEN S, ANDERSEN JH ET AL. - Risk of shoulder tendinitis in relation to shoulder loads in monotonous repetitive work. *Am J Ind Med.* 2002 ; 41 (1) : 11-18.
- 42 | WINKEL J, WESTGAARD R - Occupational and individual risk factors for shoulder-neck complaints: Part II. The scientific basis (literature review) for the guide. In: MITAL A, KILBOM A, KUMAR S (Eds) - Ergonomics Guidelines and Problem Solving. Volume 1. Amsterdam : Elsevier ; 2000 : 83-102, 479 p.
- 43 | AUBLET-CUVELIER A, BOINI S, BOURGKARD E, DEMANGE V ET AL. - Épidémiologie en santé et travail. 13e colloque de l'ADEREST, Association pour le développement des études et recherches épidémiologiques en santé et travail, Pont-à-Mousson, 23 et 24 septembre 2010. Notes de congrès TD 175. *Doc Méd Trav.* 2011 ; 125 : 83-93.
- 44 | NAHIT ES, MACFARLANE GJ, PRITCHARD CM, CHERRY NM ET AL. - Short term influence of mechanical factors on regional musculoskeletal pain: a study of new workers from 12 occupational groups. *Occup Environ Med.* 2001 ; 58 (6) : 374-81.
- 45 | SVENDSEN SW, BONDE JP, MATHIASSEN SE, STENGAARD-PEDERSEN K ET AL. - Work related shoulder disorders: quantitative exposure-response relations with reference to arm posture. *Occup Environ Med.* 2004 ; 61 (10) : 844-53.
- 46 | SUTINEN P, TOPPILA E, STARCK J, BRAMMER A ET AL. - Hand-arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. *Int Arch Occup Environ Health.* 2006 ; 79 (8) : 665-71.
- 47 | VAN DER WINDT DA, THOMAS E, POPE DP, DE WINTER AF ET AL. - Occupational risk factors for shoulder pain: a systematic review. *Occup Environ Med.* 2000 ; 57 (7) : 433-42.
- 48 | MÄKELÄ M, HELIÖVAARA M, SAINIO P, KNEKT P ET AL. - Shoulder joint impairment among Finns aged 30 years or over: prevalence, risk factors and co-morbidity. *Rheumatology (Oxford).* 1999 ; 38 (7) : 656-62.
- 49 | SILVERSTEIN BA, VIKARI-JUNTURA E, FAN ZJ, BONAUTO DK ET AL. - Natural course of nontraumatic rotator cuff tendinitis and shoulder symptoms in a working population. *Scand J Work Environ Health.* 2006 ; 32 (2) : 99-108.
- 50 | OSTERGREN PO, HANSON BS, BALOGH I, EKTOR-ANDERSEN J ET AL. - Incidence of shoulder and neck pain in a working population: effect modification between mechanical and psychosocial exposures at work?

- Results from a one year follow up of the Malmö shoulder and neck study cohort. *J Epidemiol Community Health*. 2005 ; 59 (9) : 721-28.
- 51 | NIEDHAMMER I, LANDRE MF, LECLERC A, BOURGEOIS F ET AL. - Shoulder disorders related to work organization and other occupational factors among supermarket cashiers. *Int J Occup Environ Health*. 1998 ; 4 (3) : 168-78.
- 52 | NORDANDER C, OHLSSON K, BALOGH I, RYLANDER L ET AL. - Fish processing work: the impact of two sex dependent exposure profiles on musculoskeletal health. *Occup Environ Med*. 1999 ; 56 (4) : 256-64.
- 53 | LECLERC A, CHASTANG JF, NIEDHAMMER I, LANDRE MF ET AL. - Incidence of shoulder pain in repetitive work. *Occup Environ Med*. 2004 ; 61 (1) : 39-44.
- 54 | SMITH CK, SILVERSTEIN BA, FAN ZJ, BAO S ET AL. - Psychosocial factors and shoulder symptom development among workers. *Am J Ind Med*. 2009 ; 52 (1) : 57-68.
- 55 | FONGEMIE AE, BUSS DD, ROLNICK SJ - Management of shoulder impingement syndrome and rotator cuff tears. *Am Fam Physician*. 1998 ; 57 (4) : 667-74, 680-82.
- 56 | DESCATHA A, TEYSSEYRE D, CYR D, IMBERNON E ET AL. - Long-term effects of biomechanical exposure on severe shoulder pain in the Gazel cohort. *Scand J Work Environ Health*. 2012 ; 38 (6) : 568-76.
- 57 | VIKARI-JUNTURA E, SHIRI R, SOLOVIEVA S, KARPPINEN J ET AL. - Risk factors of atherosclerosis and shoulder pain. Is there an association? A systematic review. *Eur J Pain*. 2008 ; 12 (4) : 412-26.
- 58 | MIRANDA H, VIKARI-JUNTURA E, MARTIKAINEN R, TAKALA EP ET AL. - A prospective study of work related factors and physical exercise as predictors of shoulder pain. *Occup Environ Med*. 2001 ; 58 (8) : 528-34.
- 59 | WALKER-BONE K, READING I, COGGON D, COOPER C ET AL. - Risk factors for specific upper limb disorders as compared with non-specific upper limb pain: assessing the utility of a structured examination schedule. *Occup Med (Lond)*. 2006 ; 56 (4) : 243-50.
- 60 | AUBLET-CUVELIER A, APTEL M, WEBER H - The dynamic course of musculoskeletal disorders in an assembly line factory. *Int Arch Occup Environ Health*. 2006 ; 79 (7) : 578-84.
- 61 | TAKALA EP, VIKARI-JUNTURA E, MONETA GB, SAARENMAA K ET AL. - Seasonal variation in neck and shoulder symptoms. *Scand J Work Environ Health*. 1992 ; 18 (4) : 257-61.
- 62 | CROFT P, POPE D, SILMAN - The clinical course of shoulder pain: prospective cohort study in primary care. Primary Care Rheumatology Society Shoulder Study Group. *BMJ*. 1996 ; 313 (7057) : 601-02.
- 63 | BONDE JP, MIKKELSEN S, ANDERSEN JH, FALLETIN N ET AL. - Prognosis of shoulder tendonitis in repetitive work: a follow up study in a cohort of Danish industrial and service workers. *Occup Environ Med*. 2003 ; 60 (9) : E8.
- 64 | SERAZIN C, BODIN J, CHIRON E, HA C ET AL. - COSALI. Premiers résultats du suivi des salariés atteints d'un syndrome de la coiffe des rotateurs. *Bull Epidémiol Hebd*. 2010 ; 5 (6) : 43-44.
- 65 | SERAZIN C, HAA C, BODIN J, IMBERNON E ET AL. - Devenir professionnel de salariés des Pays de la Loire souffrant de troubles musculosquelettiques. *Bull Epidémiol Hebd*. 2013 ; 10 : 95-98.
- 66 | MACFARLANE GJ, HUNT IM, SILMAN AJ - Predictors of chronic shoulder pain: a population based prospective study. *J Rheumatol*. 1998 ; 25 (8) : 1612-15.
- 67 | KAERGAARD A, ANDERSEN JH - Musculoskeletal disorders of the neck and shoulders in female sewing machine operators: prevalence, incidence, and prognosis. *Occup Environ Med*. 2000 ; 57 (8) : 528-34.
- 68 | IMAI T, GOTOH M, HAGIE K, FUKUDA K ET AL. - Factors Affecting Return to Work in Patients Undergoing Arthroscopic Rotator Cuff Repair. *Prog Rehabil Med*. 2019 ; 4 : 20190006.
- 69 | MELCHIOR M, ROQUELAURE Y, EVANOFF B, CHASTANG JF ET AL. - Why are manual workers at high risk of upper limb disorders? The role of physical work factors in a random sample of workers in France (the Pays de la Loire study). *Occup Environ Med*. 2006 ; 63 (11) : 754-61.
- 70 | MIRANDA H, PUNNETT L, VIKARI-JUNTURA E, HELIÖVAARA M ET AL. - Physical work and chronic shoulder disorder. Results of a prospective population-based study. *Ann Rheum Dis*. 2008 ; 67 (2) : 218-23.
- 71 | HARKNESS EF, MACFARLANE GJ, NAHIT ES, SILMAN AJ ET AL. - Mechanical and psychosocial factors predict new onset shoulder pain: a prospective cohort study of newly employed workers. *Occup Environ Med*. 2003 ; 60 (11) : 850-57.
- 72 | VAN DER MOLEN HF, FORESTI C, DAAMS J, FRINGS-DRESEN MHW ET AL. - Work-related risk factors for subacromial pain syndrome: systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med*. 2018 ; 75 (Suppl 2) : A254
- 73 | BOLJANOVIC D, RAZMJOU H, ELMARAGHY A - Psychosocial flag signs: impact on work status following a compensable shoulder injury. *Eur J Physiother*. 2019 (en ligne).
- 74 | SAKAI H, FUJITA K, SAKAI Y, MIZUNO K - Immunolocalization of cytokines and growth factors in subacromial bursa of rotator cuff tear patients. *Kobe J Med Sci*. 2001 ; 47 (1) : 25-34.
- 75 | SCHELL E, THEORELL T, HASSON D, ARNETZ B ET AL. - Stress biomarkers' associations to pain in the neck, shoulder and back in healthy media workers: 12-month prospective follow-up. *Eur Spine J*. 2008 ; 17 (3) : 393-405.
- 76 | DIEPENMAAT ACM, VAN DER WAL MF, DE VET HCW, HIRASING RA - Neck/shoulder, low back, and arm pain in relation to computer use, physical activity, stress, and depression among Dutch adolescents. *Pediatrics*. 2006 ; 117 (2) : 412-16.
- 77 | APTEL M, CAIL F, AUBLET-CUVELIER A - Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur (TMS-MS). Guide pour les préventeurs. 2^e édition. Édition INRS ED 957. Paris : INRS ; 2011 : 97 p.
- 78 | RAZMJOU H, SAVONA A, ELMARAGHY A - Prevalence and significance of psychosocial flag signs in patients with compensable occupational upper extremity injuries. *Phys Med Rehabil Res*. 2018 ; 3 (3). 1-6
- 79 | KUIJPERS T, VAN DER WINDT DAWM, VAN DER HEIJDEN GJMG,

Pathologies de la coiffe des rotateurs dans un contexte professionnel :

particularités et problématique du retour à l'emploi

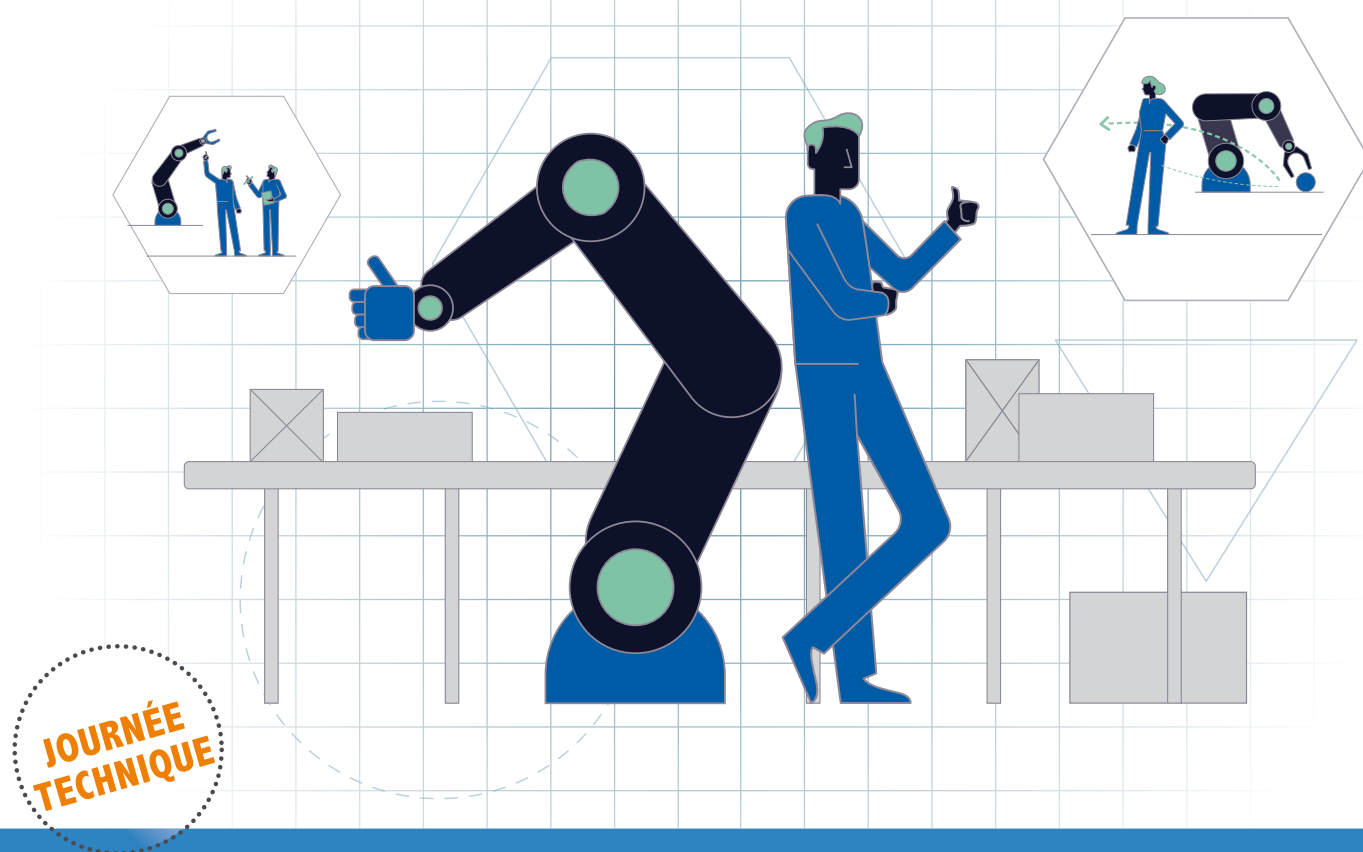
BIBLIOGRAPHIE (suite)

- BOUTER LM** - Systematic review of prognostic cohort studies on shoulder disorders. *Pain*. 2004 ; 109 (3) : 420-31.
- 80 | CHARD MD, SATTELLE LM, HAZLEMAN BL** - The long-term outcome of rotator cuff tendinitis. A review study. *Br J Rheumatol*. 1988 ; 27 (5) : 385-89.
- 81 | ROBERTS ET, DUGOFF EH, HEINS SE, SWEDLER DI ET AL.** - Evaluating Clinical Practice Guidelines Based on Their Association with Return to Work in Administrative Claims Data. *Health Serv Res*. 2016 ; 51 (3) : 953-80.
- 82 | KUIJPERS T, VAN DER WINDT DAWM, VAN DER HEIJDEN GJMG, TWISK JWR ET AL.** - A prediction rule for shoulder pain related sick leave: a prospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2006 ; 7 : 97.
- 83 | JAYASEKARA M, LAM P, MURRELL G** - Which shoulder operations are the most effective at allowing patients to return to work? *J Sci Med Sport*. 2019 ; 22 (Suppl 2) : S11.
- 84 | HARRYMAN DT^{2ND}, HETTRICH CM, SMITH KL, CAMPBELL B ET AL.** - A prospective multipractice investigation of patients with full-thickness rotator cuff tears: the importance of comorbidities, practice, and other covariables on self-assessed shoulder function and health status. *J Bone Joint Surg Am*. 2003 ; 85 (4) : 690-96.
- 85 | LÖTTERS F, FRANCHE RL, HOGG-JOHNSON S, BURDORF A ET AL.** - The prognostic value of depressive symptoms, fear-avoidance, and self-efficacy for duration of lost-time benefits in workers with musculoskeletal disorders. *Occup Environ Med*. 2006 ; 63 (12) : 794-801.
- 86 | FERMONT AJM, WOLTERBEEK N, WESSEL RN, BAEYENS JP ET AL.** - Prognostic factors for successful recovery after arthroscopic rotator cuff repair: a systematic literature review. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2014 ; 44 (3) : 153-63.
- 87 | VAN DER WINDT DAWM, KUIJPERS T, JELLEMA P, VAN DER HEIJDEN GJMG ET AL.** - Do psychological factors predict outcome in both low-back pain and shoulder pain? *Ann Rheum Dis*. 2007 ; 66 (3) : 313-19.
- 88 | STRUBE P, SCHÖPE T, HÖLZL A, BRODT S ET AL.** - Influence of Anxiety and Depression, Self-Rated Return-to-Work Problems, and Unemployment on the Outcome of Outpatient Rehabilitation After Shoulder Arthroscopy. *Am J Phys Med Rehabil*. 2019 ; 98 (12) : 1118-24.
- 89 | VOGEL AP, BARKER SJ, YOUNG AE, RUSECKAITE R ET AL.** - What is return to work? An investigation into the quantification of return to work. *Int Arch Occup Environ Health*. 2011 ; 84 (6) : 675-82.
- 90 | OVEFLATEN I, HYSING M, ERIKSEN HR** - Prognostic factors associated with return to work following multidisciplinary vocational rehabilitation. *J Rehabil Med*. 2008 ; 40 (7) : 548-54.
- 91 | RAZMJOU H, BOLJANOVIC D, LINCOLN S, HOLTBY R ET AL.** - Outcome of Expedited Rotator Cuff Surgery in Injured Workers: Determinants of Successful Recovery. *Orthop J Sports Med*. 2017 ; 5 (5) : 2325967117705319.
- 92 | DE VRIES HJ, RENEMAN MF, GROOTHOFF JW, GEERTZEN JHB ET AL.** - Factors promoting staying at work in people with chronic nonspecific musculoskeletal pain: a systematic review. *Disabil Rehabil*. 2012 ; 34 (6) : 443-58.
- 93 | MENDEZ A** - Processus. Concepts et méthode pour l'analyse temporelle en sciences sociales. Louvain-la-Neuve : Academia-Bruylant ; 2010 : 260 p.
- 94 | KRAUSE N, RAGLAND DR** - Occupational disability due to low back pain: a new interdisciplinary classification based on a phase model of disability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994 ; 19 (9) : 1011-20.
- 95 | BARIL R, DURAND MJ, COUTU MF, CÔTÉ D ET AL.** - TMS. L'influence des représentations de la maladie, de la douleur et de la guérison sur le processus de réadaptation au travail. Réadaptation au travail. Etudes et recherches. Rapport R-544. IRSST, 2008 (<https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-544.pdf>).
- 96 | DIDDEN K, LEIRS G, AERTS P** - The impact of the belgian workers' compensation system on return to work after rotator cuff surgery. *Acta Orthop Belg*. 2010 ; 76 (5) : 592-97.
- 97 | FOUQUET B, BORIE MJ** - Réinsertion socioprofessionnelle après chirurgie de la coiffe des rotateurs. In: BRUNON-MARTINEZ A, CODINE P, HÉRISSON C (Éds) - Coiffe des rotateurs opérée et rééducation. Pathologie locomotrice et médecine orthopédique n° 63. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2008 : 174-83,195 p.
- 98 | DALTON SE** - The conservative management of rotator cuff disorders. *Br J Rheumatol*. 1994 ; 33 (7) : 663-67.
- 99 | SHAW L, DOMANSKI S, FREEMAN A, HOFFELE C** - An investigation of a workplace-based return-to-work program for shoulder injuries. *Work*. 2008 ; 30 (3) : 267-76.
- 100 | DEKKERS-SÁNCHEZ PM, WIND H, SLUITER JK, FRINGS-DRESEN MHW** - What promotes sustained return to work of employees on long-term sick leave? Perspectives of vocational rehabilitation professionals. *Scand J Work Environ Health*. 2011 ; 37 (6) : 481-93.
- 101 | DURAND MJ, CORBIÈRE M, COUTU MF, REINHARZ D ET AL.** - A review of best work-absence management and return-to-work practices for workers with musculoskeletal or common mental disorders. *Work*. 2014 ; 48 (4) : 579-89.
- 102 | CHENG ASK, HUNG LK** - Randomized controlled trial of workplace-based rehabilitation for work-related rotator cuff disorder. *J Occup Rehabil*. 2007 ; 17 (3) : 487-503.
- 103 | ROY JS, DESMEULES F, FRÉMONT P, DIONNE CÉ ET AL.** - L'évaluation clinique, les traitements et le retour en emploi de travailleurs souffrant d'atteintes de la coiffe des rotateurs. Bilan des connaissances. Programme REPAR - IRSST. Réadaptation au travail. Etudes et recherches. Rapport R-885. IRSST, 2015 (<https://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/publication/i/100837/n/traitements-retour-emploi-travailleurs-souffrant-coiffe-rotateurs>).
- 104 | GUZMÁN J, ESMAIL R, KARIJALAINEN K, MALMIVAARA A ET AL.** - Multidisciplinary bio-psycho-social rehabilitation for chronic low back pain. *Cochrane Database Syst Rev*. 2002 ; (1) : CD000963.
- 105 | HANRATTY CE, McVEIGH JG, KERR DP, BASFORD JR ET AL.** - The effectiveness of physiotherapy

- exercises in subacromial impingement syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Semin Arthritis Rheum*. 2012 ; 42 (3) : 297-316.
- 106 | MICHENER LA, WALSWORTH MK, BURNET EN - Effectiveness of rehabilitation for patients with subacromial impingement syndrome: a systematic review. *J Hand Ther*. 2004 ; 17 (2) : 152-64.
- 107 | BLANGSTED AK, SØGAARD K, HANSEN EA, HANNERZ H ET AL. - One-year randomized controlled trial with different physical-activity programs to reduce musculoskeletal symptoms in the neck and shoulders among office workers. *Scand J Work Environ Health*. 2008 ; 34 (1) : 55-65.
- 108 | ZEBIS MK, ANDERSEN LL, PEDERSEN MT, MORTENSEN P ET AL. - Implementation of neck/shoulder exercises for pain relief among industrial workers: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2011 ; 12 : 205.
- 109 | SHIRI R, KAUSTO J, MARTIMO KP, KAILA-KANGAS L ET AL. - Communication TO 10: Health-related effects of early part-time sick leave due to musculoskeletal disorders: a randomised controlled trial. In: ICOH-WDPI 2012 conference: Healthy ageing in working society. Second Scientific Conference on Work Disability Prevention and Integration. Groningen. October, 22-24 october 2012. 2012 : 85, 204 p.
- 110 | MARTIMO KP, SHIRI R, KAUSTO J, KAILA-KANGAS L ET AL. - Communication TO12: Economic evaluation of part-time sick leave in musculoskeletal disorders. In: ICOH-WDPI 2012 conference: Healthy ageing in working society. Second Scientific Conference on Work Disability Prevention and Integration. Groningen. October, 22-24 october 2012. 2012 : 88, 204 p.
- 111 | SEING I, MACÉACHEN E, STÄHL C, EKBERG K - Early-return-to-work in the context of an intensification of working life and changing employment relationships. *J Occup Rehabil*. 2015 ; 25 (1) : 74-85.
- 112 | BOOT CRL, HOGG-JOHNSON S, BÜLTMANN U, AMICK BC ET AL. - Poster TP1: Predictors of return to work following musculoskeletal injury in workers with and without comorbidity: a 12 month longitudinal study. In: ICOH-WDPI 2012 conference: Healthy ageing in working society. Second Scientific Conference on Work Disability Prevention and Integration. Groningen. October, 22-24 october 2012. 2012 : 89, 204 p.
- 113 | HUIJS JJM, KOPPES LLJ, TARIS TW ET AL. - Differences in predictors of return to work among long-term sick-listed employees with different self-reported reasons for sick leave. *J Occup Rehabil*. 2012 ; 22 (3) : 301-11.
- 114 | BLYTH FM, MARCH LM, NICHOLAS MK, COUSINS MJ - Chronic pain, work performance and litigation. *Pain*. 2003 ; 103 (1-2) : 41-47.
- 115 | BURTON AK, KENDALL NAS, PEARCE BG, BIRRELL LN ET AL. - Management of work-relevant upper limb disorders: a review. *Occup Med (Lond)*. 2009 ; 59 (1) : 44-52.
- 116 | APTEL M, VÉZINA N - Quels modèles pour comprendre et prévenir les TMS ? Pour une approche holistique et dynamique. IRSST, 2008 (<https://www.irsst.qc.ca/media/documents/pubirsst/plen-aptel-vezina-11h20.pdf>).
- 117 | ROQUELAURE Y - Actualités concernant les troubles musculosquelettiques du membre supérieur en relation avec le travail répétitif. *Bull Acad Natl Méd*. 2017 ; 201 (7-8-9) : 1149-60.
- 118 | PINCUS T, KENT P, BRONFORT G, LOISEL P ET AL. - Twenty-five years with the biopsychosocial model of low back pain. Is it time to celebrate? A report from the twelfth international forum for primary care research on low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013 ; 38 (24) : 2118-23.
- 119 | DURAND MJ - Récit de l'édification d'une équipe de recherche interdisciplinaire pour aborder la problématique de la situation de handicap au travail. *Perspect Interdiscip Trav Santé*. 2002 ; 4-2 : 1-14.
- 120 | DURAND MJ, BARIL R, LOISEL P, GERVAIS J - Trajectoires des travailleurs recevant un programme de retour au travail : étude exploratoire des discussions d'une équipe interdisciplinaire. *Perspect Interdiscip Trav Santé*. 2008 ; 10-2 : 1-19.
- 121 | DURAND MJ, LOISEL P - La transformation de la réadaptation au travail d'une perspective parcellaire à une perspective systémique. *Perspect Interdiscip Trav Santé*. 2001 ; 3-2 : 1-17.
- 122 | DURAND MJ, LOISEL P, DURAND P - Le retour Thérapeutique au Travail comme une intervention de réadaptation centralisée dans le milieu de travail : description et fondements théoriques. *Can J Occup Ther*. 1998 ; 65 (1) : 72-80.
- 123 | PETERS SE, COPPIETERS MW, ROSS M, JOHNSTON V - Perspectives from Employers, Insurers, Lawyers and Healthcare Providers on Factors that Influence Workers' Return-to-Work Following Surgery for Non-Traumatic Upper Extremity Conditions. *J Occup Rehabil*. 2017 ; 27 (3) : 343-58.

ROBOTS COLLABORATIFS

DÉMARCHE DE PRÉVENTION POUR UNE INTÉGRATION RÉUSSIE



Vous souhaitez intégrer un robot collaboratif dans votre entreprise ?

Présentés comme une clé de compétitivité, les robots collaboratifs suscitent un grand intérêt dans l'industrie. Beaucoup y voient le moyen de combiner le savoir-faire humain avec l'endurance de ces robots conçus pour travailler à proximité des travailleurs.

La robotique collaborative pose néanmoins la question de leur intégration en entreprise du fait de la coactivité homme-robot. Celle-ci peut en effet générer des risques physiques mais également des contraintes psychiques.

Cette journée technique éclairera les questions à se poser pour réussir une application de robotique collaborative. Elle s'adresse ainsi à tous ceux qui s'interrogent sur les risques et les mesures de prévention à mettre en place : chargés de prévention, chefs d'entreprise et intégrateurs confrontés à ces nouvelles technologies.

Des experts et des acteurs d'entreprises impliqués dans la prévention des risques liés aux robots collaboratifs vous présenteront le contexte réglementaire, leurs retours d'expériences et les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour une intégration réussie.

IMPORTANT : UNIQUEMENT DIFFUSÉ SUR INTERNET

INSCRIPTION : www.inrs-robotscollaboratifs2021.fr

CONTACT : robotscollaboratifs2021@inrs.fr

MARDI
22
JUN 2021

Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins

AUTEURS :

S. Chazelet¹, M.C. Bayeux-Dunglas², M. Guimon³

1. Département Ingénierie des procédés, INRS

2. Département Études et assistance médicales, INRS

3. Département Expertise et conseil technique, INRS

EN
RÉSUMÉ

Dans son avis du 23 mars 2018, la Société française d'hygiène hospitalière (SF2H) recommande de renforcer la formation des personnels soignants au port d'un appareil de protection respiratoire (APR) de type FFP et d'effectuer des essais d'ajustement afin de choisir le modèle d'APR le plus adapté. Avec l'appui du GERES (Groupe d'étude sur le risque d'exposition des soignants aux agents infectieux), l'INRS a réalisé une campagne d'essais d'ajustement quantitatifs sur 15 sujets et 14 modèles de masques FFP2. Deux dimensions faciales des sujets ont été mesurées et corrélées aux résultats de l'essai d'ajustement. L'étude montre qu'il est plus difficile d'obtenir un bon ajustement pour les visages très petits/fins ou les visages très larges mais une amélioration nette du taux de réussite à l'essai d'ajustement est mesurée lorsque le sujet a l'expérience du port des APR. Ces travaux montrent également que les modèles de masques en forme bec de canard sont globalement plus difficiles à ajuster que les autres.

MOTS CLÉS

Masque / Appareil de protection respiratoire / Équipement de protection individuelle / EPI / Protection individuelle / Personnel soignant / Milieu de soins

Cette étude fait suite à l'enquête, réalisée par le Groupe d'étude sur le risque d'exposition des soignants aux agents infectieux (GERES) entre novembre 2018 et février 2019, auprès des établissements de santé sur les appareils de protection respiratoire dont ils disposent pour protéger leur personnel soignant du risque infectieux aéroporté dans le cadre des précautions complémentaires « air » [1]. Les résultats de cette enquête ont montré que, dans ce cadre, les appareils de protection respiratoire (APR) utilisés dans les établissements de soin étaient bien en grande majorité de type FFP2 (pièce faciale filtrante de niveau 2), comme recommandé par la Société française d'hygiène hospitalière (SF2H) en 2018 [2]. Par ailleurs ces recommandations insistaient sur la nécessité de choisir un masque FFP2 adapté à chaque utilisateur en se basant sur un essai d'ajustement (*fit test* en anglais). Sur ce point, les recommandations ne

sont pas appliquées car la grande majorité de ces établissements ne disposent généralement que d'un seul modèle de masque de type FFP pour l'ensemble du personnel soignant. Par ailleurs, un seul établissement, sur les 258 ayant répondu à l'enquête, a indiqué réaliser des essais d'ajustement [1]. Ces essais d'ajustement ont pour objectif de garantir une protection optimale du porteur du masque. Ils permettent de trouver un modèle de masque qui s'ajuste bien au visage. Ce bon ajustement limite les fuites au visage qui favorisent la pénétration de polluants aéroportés. Ces essais peuvent suivre plusieurs protocoles, comme cela est décrit dans le guide INRS ED 6273 « Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement » [3, 4]. Les résultats de l'enquête réalisée par le GERES ont mis en évidence l'utilisation d'un grand nombre de modèles de masques de type FFP dans les établissements de santé. Il est également ressorti de cette enquête que trois formes de

Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins

masques étaient utilisées : principalement des masques forme bec de canard (70 %) mais également des masques à plis (25 %) et plus rarement des masques forme coquille (5 %). Une précédente étude du GERES sur l'ajustement de ces différentes formes de masques avait montré que la capacité des masques à s'ajuster aux visages était variable en fonction de leur forme [5]. Le taux de réussite à l'essai d'ajustement était supérieur avec les masques à plis par rapport aux masques bec de canard ou coquille. Cette étude avait également montré que, sur un panel de 50 personnels soignants et sur un échantillon de 9 modèles de masques FFP2 de différentes formes, seul un essai d'ajustement sur trois était réussi. Les raisons avancées pour expliquer ce résultat étaient la grande diversité des morphologies des sujets, l'absence, sur plusieurs modèles de masques testés, d'éléments permettant un ajustement au visage (élastique réglable, barrette nasale...) et également le faible niveau de formation des sujets au port des APR et à leur ajustement en particulier.

L'étude présentée dans cet article a pour objectif de poursuivre l'évaluation de la capacité d'ajustement de différents modèles de masques de type FFP en s'intéressant tout particulièrement au lien entre l'ajustement de chaque modèle de masque et les dimensions faciales des sujets.

Les travaux du NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) [6] ont permis de déterminer deux dimensions faciales appropriées pour corrélérer les caractéristiques physiques des sujets avec les résultats des essais d'ajustement. Ces deux dimensions sont la longueur et la largeur du visage, illustrées sur la **figure 1**.

Un panel, nommé *bivariate panel* (panel à deux dimensions), a été construit par le NIOSH [7] sur la base de ces deux mesures permettant de définir 10 « cellules » notées de 1 à 10 regroupant des physiologies faciales voisines, comme le montre la **figure 2**.

Le NIOSH a réalisé des essais d'ajustement quantitatifs pour des sujets de dimensions de visage variables et avec des modèles de masques disponibles en trois tailles (S, M et L) ou en deux tailles (S/M et M/L). Il a montré que les résultats des essais d'ajustement,

dans le cas de trois tailles disponibles, étaient meilleurs :

- avec la taille S pour les cellules 1 à 3 ;
- avec la taille M pour les cellules 4 à 7 ;
- avec la taille L pour les cellules 8 à 10.

De la même manière, lorsqu'un modèle de masque est disponible en deux tailles, il est recommandé de tester en priorité :

- la taille S/M pour les cellules 1 à 6 ;
- la taille M/L pour les cellules 5 à 10.

Figure 1 : Illustration des deux dimensions faciales : longueur et largeur du visage (d'après [7])

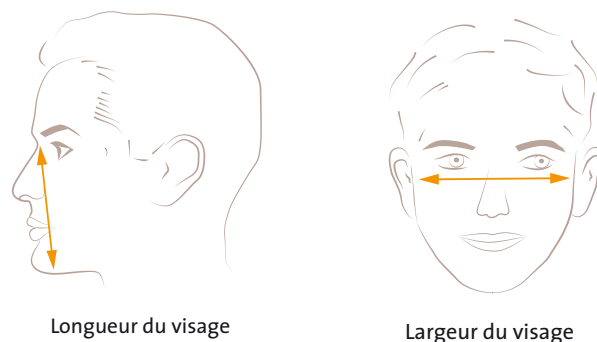
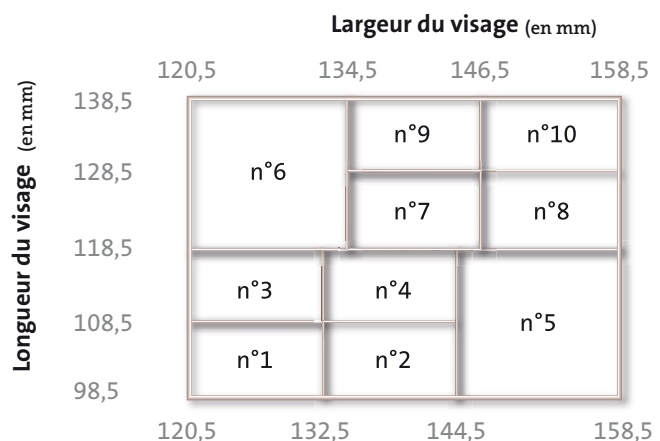


Figure 2 : Panel à deux dimensions (*bivariate panel*) défini par le NIOSH (d'après [7])



Ce panel peut donc *a priori* être utilisé pour pré-sélectionner la taille du masque à tester en priorité lorsque plusieurs tailles sont disponibles.

La campagne d'essais d'ajustement réalisée dans l'étude présente s'est attachée à lier les résultats des essais d'ajustement aux dimensions faciales des sujets tout en étudiant l'effet de la forme du masque, de l'expérience du sujet concernant le port du masque mais aussi du rasage sur l'ajustement.

CAMPAGNE DE MESURE DE L'AJUSTEMENT DES PIÈCES FACIALES FILTRANTES

MODÈLES DE MASQUES TESTÉS

Les modèles de masques FFP2 inclus dans la campagne ont été sélectionnés à partir des réponses des établissements de soin au questionnaire établi par le GERES [1]. Sur les 67 références différentes de masques FFP2 recensées par les 258 établissements qui ont participé à l'enquête sur la base du volontariat, 11 modèles ont été choisis pour l'étude car ils étaient le plus souvent utilisés. Les masques à bec de canard étant les plus présents en milieu hospitalier selon l'enquête du GERES, la sélection réalisée ne contenait que 2 modèles de masques à plis et 1 de forme coquille. Il a donc été décidé d'élargir le panel avec 2 masques coquilles et 1 à plis supplémentaires, utilisés dans d'autres secteurs industriels.

La campagne porte donc finalement sur un échantillon de 14 modèles de masques respiratoires de 3 formes différentes : coquille (3 modèles), à plis (3 modèles), bec de canard (8 modèles).

Parmi ces 14 modèles de masques, seuls deux modèles étaient disponibles en 2 tailles :

- un masque de forme bec de canard, disponible en taille M et en taille S ;
- un masque de forme coquille, disponible en taille M/L et en taille S/M.

SUJETS D'ESSAIS

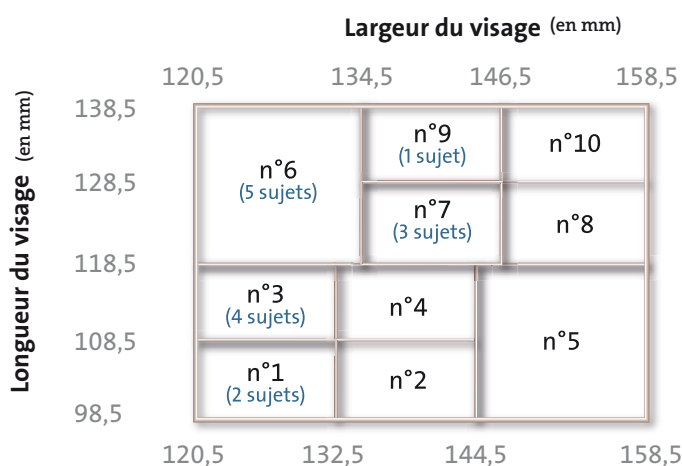
Quinze sujets d'essais ont été sélectionnés. Leur dimensions faciales (longueur et largeur faciales) ont été mesurées au moyen d'un compas céphalique médical et chaque sujet a été affecté à une cellule du *bivariate panel* (figure 3). Par rapport à la variété de dimensions faciales référencées dans le panel du NIOSH, les sujets inclus dans l'étude ont plutôt des visages moyens ou fins. Pour les modèles de masque présentant 2 tailles, la taille testée en premier est celle définie par les travaux du NIOSH.

PROTOCOLE D'ESSAIS D'AJUSTEMENT

Le guide INRS ED 6273 [3] propose deux grandes familles de protocoles d'essai d'ajustement : les essais quantitatifs et les essais qualitatifs. La méthode quantitative est basée soit sur la mesure de la quantité d'aérosol qui pénètre à l'intérieur du masque de type FFP, soit sur la mesure de la perte de pression dans le masque. La méthode qualitative est basée sur la détection par le sujet portant un masque d'une substance présentant un goût amer ou sucré.

Dans les deux cas le sujet d'essai positionne le masque sur son visage, l'ajuste au mieux, respire dedans pendant une période d'acclimatation de quelques minutes puis l'essai commence. Le sujet effectue un certain nombre d'exercices au cours desquels l'ajustement est ensuite vérifié. Dans les protocoles quantitatifs, une

Figure 3 : Nombre de sujets par cellule du panel à deux dimensions du NIOSH



Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins

mesure est effectuée qui permet de calculer un coefficient d'ajustement qui sera plus ou moins élevé selon la qualité de l'ajustement du masque. Dans les protocoles qualitatifs, le sujet, portant le masque, est environné d'une substance sucrée ou amère et doit indiquer s'il détecte cette substance simplement au goût.

Afin d'obtenir des données précises pour l'exploitation des résultats, un protocole quantitatif par comptage de particules permettant le calcul de coefficients d'ajustement a été utilisé. La mise en œuvre de cette méthode repose sur l'utilisation d'un compteur de particules qui prélève alternativement un échantillon d'air à l'extérieur du masque et à l'intérieur du masque *via* un adaptateur étanche pendant que le sujet effectue les différents exercices.

Le coefficient d'ajustement se calcule ensuite par le rapport des concentrations entre l'extérieur et l'intérieur du masque. Plus le coefficient d'ajustement est élevé meilleur est l'ajustement au visage. L'intérêt de cette méthode est aussi de pouvoir déterminer un coefficient d'ajustement pour chacun des exercices et d'identifier ainsi des postures qui seraient plus à même de générer des fuites entre le masque et le visage du porteur. Les recommandations pour la réalisation d'un essai d'ajustement complet sont d'effectuer les mesures lors de la succession de 8 exercices, d'une durée d'environ 1 minute chacun :

1. respirer normalement ;
2. respirer profondément ;
3. effectuer des mouvements de tête de gauche à droite ;
4. effectuer des mouvements de tête de haut en bas ;
5. parler ;
6. se pencher en avant ;

7. respirer normalement ;

8. exercice de *step* de niveau II.

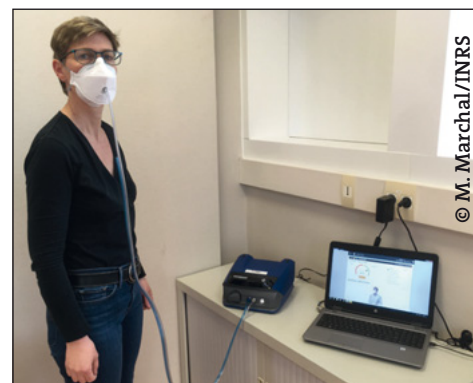
Dans l'objectif de pouvoir tester un grand nombre de modèles de masques sur un grand nombre de sujets, un protocole réduisant le nombre d'exercices a été mis en place. Ainsi, pour cette étude, seulement 4 exercices (exercices 1, 3, 4 et 5) ont été sélectionnés car ils représentent des gestes courants. L'exercice de parler a été inclus car il conduit généralement à l'obtention d'un coefficient d'ajustement plus faible que pour les autres exercices (déformation du visage et émission de particules au sein du masque) [8].

La mise en œuvre de ce type de protocole d'essai d'ajustement simplifié, en réduisant le nombre d'exercices, a déjà été utilisé dans la littérature lorsqu'un grand nombre de sujets/tests étaient prévus [7].

Lors de chaque exercice (noté *j*), le compteur de particules (Portacount, TSI), installé comme illustré sur la **figure 4**, mesure la concentration en aérosol ambiant à l'extérieur du masque ($C_{e,j,1}$) puis la concentration en aérosol ambiant à l'intérieur du masque ($C_{i,j}$) et à nouveau la concentration en aérosol ambiant à l'extérieur du masque ($C_{e,j,2}$). Le calcul du coefficient d'ajustement (CA_j) pour un exercice se fait ensuite de la manière suivante : $CA_j = [C_{e,j,1} + C_{e,j,2}] / [2 \cdot C_{i,j}]$.

À la fin d'un essai, 4 valeurs de coefficient d'ajustement sont obtenues correspondant aux 4 exercices réalisés, et une moyenne peut être calculée pour l'ensemble de l'essai. C'est la moyenne harmonique des coefficients d'ajustement pour chacun des exercices qui est alors utilisée et calculée comme suit : $CA = 4 / [\sum (1/CA_j)]$, avec CA le coefficient d'ajustement global sur l'ensemble de l'essai et les CA_j les coefficients

Figure 4 : Montage pour la réalisation d'un essai d'ajustement quantitatif par comptage de particules



© M. Marchal/INRS

d'ajustement pour chacun des 4 exercices.

Le critère de réussite à l'essai d'ajustement quantitatif est l'obtention d'un coefficient d'ajustement global supérieur ou égal à 100, en s'assurant que les coefficients d'ajustement pour chacun des exercices sont également supérieurs à 100, comme recommandé dans le guide INRS ED 6273 [3].

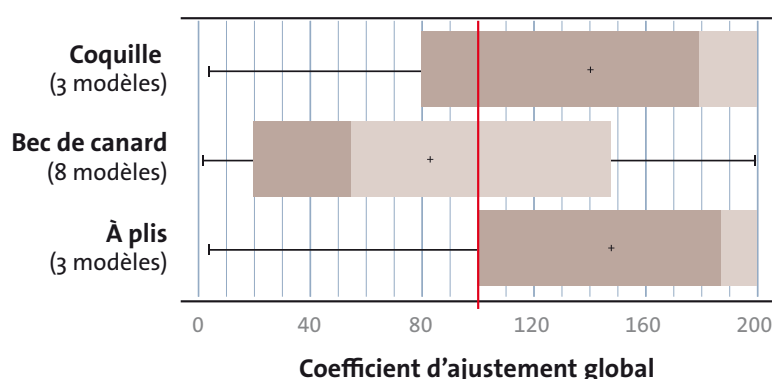
Afin d'évaluer la variabilité des résultats en fonction de la pose du masque, le sujet réalise 3 essais d'ajustement avec une nouvelle pose à chaque fois pour un même masque. Au total, chaque sujet effectue 42 essais d'ajustement (3 essais d'ajustement sur chacun des 14 modèles de masques) en 1 journée et demie environ.

RÉSULTATS DES ESSAIS D'AJUSTEMENT

Les résultats des essais d'ajustement sont présentés sous la forme de coefficients d'ajustements globaux en fonction de différents paramètres :

- la forme du masque (coquille, bec de canard, à plis) ;
- les dimensions du visage en lien avec le *bivariate panel* du NIOSH ;
- l'expérience du port d'un APR ;
- le rasage.

Figure 5 : Distributions des valeurs de coefficient d'ajustement global obtenues pour les 3 formes de masque



Pour chaque paramètre d'influence les résultats sont présentés d'une part sous forme de boîtes à moustache qui illustrent les valeurs extrêmes, les différents quartiles de chacune des distributions et d'autre part sous forme de tableaux avec les valeurs numériques clés des distributions et les taux de réussite aux essais d'ajustement. Sur chaque figure, la valeur limite de coefficient d'ajustement pour la réussite d'un essai d'ajustement, égale à 100, est matérialisée en rouge et les valeurs supérieures à 200 ne sont pas représentées.

EFFET DE LA FORME DU MASQUE

L'ensemble des résultats de coefficients d'ajustement sont regroupés en 3 distributions, chacune contenant les valeurs obtenues pour une forme de masque sur la totalité des tests effectués sur les 15 sujets.

La figure 5 présente l'étendue de ces distributions et le tableau I les valeurs clés. Il apparaît sur la figure 5 que les valeurs médianes de coefficient d'ajustement global pour les modèles coquille ou à plis sont supérieures à la limite de 100 correspondant à un bon ajustement alors que celles des modèles bec de canard sont inférieures à 100.

Les données, regroupées dans le tableau I, mettent en évidence la grande dispersion des résultats parmi les sujets et ce, quelle que soit la forme du masque. Pour un sujet donné et pour une même forme de masque, l'ajustement peut être bon avec un modèle et mauvais avec un autre.

Le taux de réussite à l'essai d'ajustement, qui se calcule comme le rapport entre le nombre d'essais d'ajustement réussis (CA>100) et le nombre total d'essais d'ajustement réalisés, est précisé en fonction de la forme du masque dans le tableau II

↓ Tableau I

> CARACTÉRISTIQUES DES DISTRIBUTIONS DE COEFFICIENTS D'AJUSTEMENT GLOBAUX (CA) EN FONCTION DE LA FORME DU MASQUE

| | Coquille (3 modèles) | Bec de canard (8 modèles) | À plis (3 modèles) |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Nombre de valeurs de CA obtenues | 130 | 354 | 135 |
| Moyennes arithmétique des CA | 140,5 | 82,3 | 147,4 |
| Écart-type des CA | 69,7 | 71,6 | 66,9 |
| Valeur médiane des CA | 177,6 | 54,5 | 186,2 |
| Valeur minimale des CA | 4,4 | 1,6 | 3,4 |

↓ Tableau II

> TAUX DE RÉUSSITE À L'ESSAI D'AJUSTEMENT SUR L'ENSEMBLE DES SUJETS POUR CHAQUE FORME DE MASQUE

| | Coquille (3 modèles) | Bec de canard (8 modèles) | À plis (3 modèles) |
|--|-------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Taux de réussite à l'essai d'ajustement (CA>100) à la 1 ^{re} pose | 73,3 % | 32,5 % | 66,7 % |
| Taux de réussite à l'essai d'ajustement (CA>100) sur les 3 poses | 69,7 % | 33 % | 73,3 % |

pour la 1^{re} pose seule et pour les 3 poses.

Le taux de réussite à l'essai d'ajustement, calculé sur l'ensemble des 15 sujets testés, est plus élevé pour les masques de forme à plis ou coquille que pour les masques bec de canard. Ce résultat est en accord avec celui de Ciotti [5].

Par ailleurs, la variabilité entre les résultats obtenus à la première pose et sur les 3 poses est très faible. La manière dont le sujet ajuste le masque à la première pose est représentative de celle avec

laquelle il ajustera le masque lors des poses suivantes.

EFFET DES DIMENSIONS FACIALES DES SUJETS

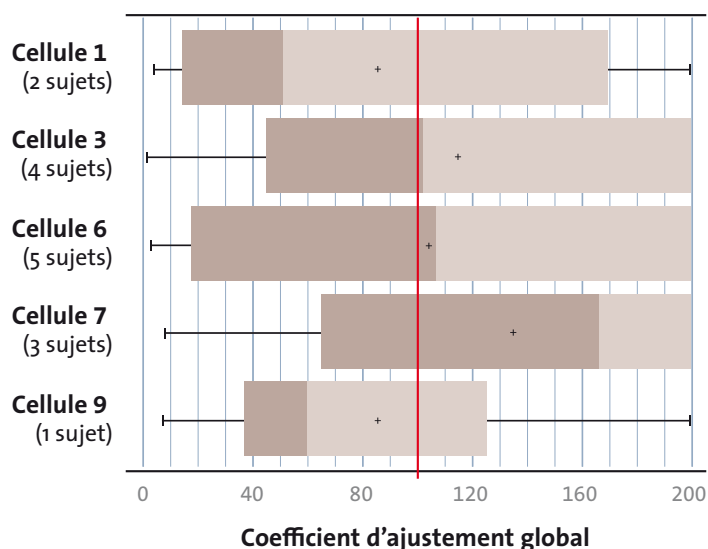
Les données sont représentées sur la figure 6 page suivante en fonction des dimensions faciales des sujets.

Les valeurs clés de chaque distribution de coefficients d'ajustement par cellule sont données dans le tableau III page suivante.

Les valeurs médianes et les moyennes arithmétiques sont bien

Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins

Figure 6 : Distribution des valeurs de coefficient d'ajustement global obtenues par cellule de dimensions faciales



↓ Tableau III

➤ CARACTÉRISTIQUES DES DISTRIBUTIONS DE COEFFICIENTS D'AJUSTEMENT GLOBAUX (CA) EN FONCTION DES DIMENSIONS FACIALES DES SUJETS

| | Cellule 1 | Cellule 3 | Cellule 6 | Cellule 7 | Cellule 9 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nombre de valeurs de CA obtenues | 84 | 165 | 209 | 120 | 42 |
| Moyennes arithmétiques des CA | 84,8 | 114,2 | 103,7 | 135 | 85 |
| Écart-type des CA | 76,3 | 74,2 | 81 | 67,7 | 62 |
| Valeur médiane des CA | 50,6 | 101,8 | 106,9 | 166,6 | 59,2 |
| Valeur minimale des CA | 3,2 | 1,6 | 3 | 8 | 6,3 |

↓ Tableau IV

➤ TAUX DE RÉUSSITE À L'ESSAI D'AJUSTEMENT EN FONCTION DES DIMENSIONS FACIALES DES SUJETS

| | Cellule 1 | Cellule 3 | Cellule 6 | Cellule 7 | Cellule 9 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Taux de réussite à l'essai d'ajustement (CA>100) à la 1 ^{re} pose | 32,1 % | 54,5 % | 42,9 % | 67,5 % | 42,9 % |
| Taux de réussite à l'essai d'ajustement (CA>100) sur les 3 poses | 35,7 % | 50,3 % | 50 % | 65,8 % | 35,7 % |

inférieures pour les cellules 1 et 9. Cela montre qu'un bon ajustement est plus difficile à obtenir pour les sujets ayant des dimensions de visage extrêmes (cellules 1 et 9). Pour ces sujets, la valeur médiane du coefficient d'ajustement est largement inférieure à 100. Par contre pour les autres cellules, cette valeur médiane est toujours supérieure à 100.

Globalement les taux de réussite à l'essai d'ajustement par cellule, regroupés dans le **tableau IV**, sont nettement plus faibles pour les cellules 1 et 9 que pour les autres cellules.

La grande majorité des modèles testés ne sont disponibles qu'en taille unique correspondant à une taille moyenne. Cela pose clairement un problème pour les sujets ayant un petit/fin visage (cellule 1 du *bivariate panel*), pour lesquels l'ajustement est très compliqué voire impossible du fait des dimensions de certains modèles de masques qui baillent sous le menton par exemple. Lorsqu'une taille S était disponible (modèle de masque n° 1 et 7), cette taille a été privilégiée lors de l'essai d'ajustement pour les sujets des cellules 1 et 3 en particulier. Les taux de réussite à l'essai d'ajustement pour le masque n° 1, qui est un masque bec de canard, et pour le masque n° 7, qui est un masque coquille, sont respectivement de 33,3 % et 64,3 %. En comparaison, le taux de réussite pour l'ensemble des modèles de masques bec de canard est égal à 33 % et celui pour l'ensemble des modèles coquille est de 69,7 %. Il apparaît donc que, pour ces deux modèles de masques, le fait d'être disponible en deux tailles n'améliore pas les résultats aux essais d'ajustement.

Les taux de réussite à l'essai d'ajustement ont été calculés pour les différentes cellules du *bivariate*

↓ **Tableau V**

➤ **TAUX DE RÉUSSITE À L'ESSAI D'AJUSTEMENT SUR LES 3 POSES EN FONCTION DES DIMENSIONS FACIALES DES SUJETS POUR LES DIFFÉRENTES FORMES DE MASQUE**

| | Cellule 1 (2 sujets) | Cellule 3 (4 sujets) | Cellule 6 (5 sujets) | Cellule 7 (3 sujets) | Cellule 9 (1 sujets) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Coquille (3 modèles) | 50 % | 68,1 % | 73,3 % | 85,2 % | 66,7 % |
| Bec de canard (8 modèles) | 27,1 % | 35,4 % | 32,5 % | 46,8 % | 8,3 % |
| À plis (3 modèles) | 44,4 % | 72,2 % | 73,3 % | 92,6 % | 77,8 % |

panel pour chacune des formes de masque. Le **tableau V** regroupe ces résultats.

Pour toutes les cellules de dimensions faciales, la conclusion est la même : le taux de réussite est plus élevé avec les masques à plis ou coquille qu'avec ceux en bec de canard.

EFFET DE L'EXPÉRIENCE AU PORT DU MASQUE

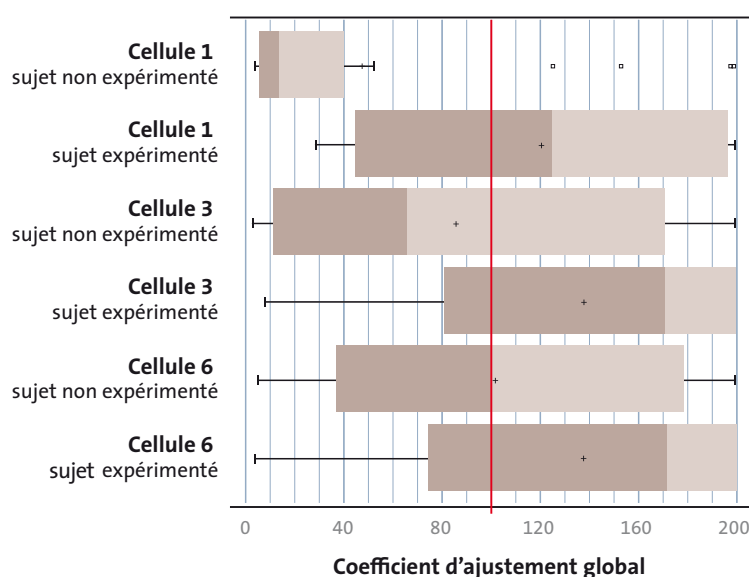
Parmi les 15 sujets intégrés dans la campagne, 3 paires ont pu être identifiées dans 3 cellules différentes. Chacune de ces paires de sujets comprend un sujet ayant l'expérience du port des APR et un sujet non expérimenté. Une comparaison des résultats des essais d'ajustement entre sujet expérimenté et sujet non expérimenté a été réalisée et est présentée **figure 7**. Les valeurs numériques des distributions de coefficient d'ajustement sont données dans le **tableau VI** et les taux de réussite dans le **tableau VII**.

Il apparaît sur ces résultats que l'expérience du port de masque génère une forte augmentation du taux de réussite à l'essai d'ajustement. Les sujets expérimentés positionnent le masque correctement, dès la première pose. Ils l'ajustent mieux, contrôlent systématiquement et de manière spontanée l'ajustement et identifient généralement très vite lorsqu'un masque est mal ajusté ou ne pourra pas bien s'ajuster.

EFFET DU RASAGE

Des essais d'ajustement complémentaires ont été réalisés avec un sujet masculin dont les dimensions faciales appartiennent à la cellule 7 (pour laquelle le taux de réussite aux essais d'ajustement est plus élevé que pour les autres cellules). Le sujet en question a effectué des essais d'ajustement avec 3 modèles de masques (dont un supplémentaire,

Figure 7 : Distribution de valeurs de coefficient d'ajustement global en fonction du niveau d'expérience du port du masque



↓ **Tableau VI**

➤ **CARACTÉRISTIQUES DES DISTRIBUTIONS DE COEFFICIENTS D'AJUSTEMENT GLOBAUX (CA) EN FONCTION DE L'EXPÉRIENCE (EXP.) DES SUJETS DU PORT DU MASQUE**

| | Cellule 1 | | Cellule 3 | | Cellule 6 | |
|----------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | Sujet sans exp. | Sujet exp. | Sujet sans exp. | Sujet exp. | Sujet sans exp. | Sujet exp. |
| Nombre de valeurs de CA obtenues | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| Moyennes arithmétiques des CA | 48,7 | 120,7 | 85,6 | 138 | 101,8 | 137,8 |
| Écart-type des CA | 69 | 65,7 | 78 | 68,6 | 69,8 | 71,9 |
| Valeur médiane des CA | 14,2 | 125,1 | 65,9 | 171,2 | 99,5 | 172,2 |
| Valeur minimale des CA | 3,5 | 29,2 | 1,6 | 15,3 | 4,4 | 3,7 |

↓ **Tableau VII**

➤ **TAUX DE RÉUSSITE À L'ESSAI D'AJUSTEMENT EN FONCTION DE L'EXPÉRIENCE (EXP.) AU PORT DE MASQUE**

| | Cellule 1 | | Cellule 3 | | Cellule 6 | |
|--|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | Sujet sans exp. | Sujet exp. | Sujet sans exp. | Sujet exp. | Sujet sans exp. | Sujet exp. |
| Taux de réussite à l'essai d'ajustement (CA>100) à la 1 ^{re} pose | 14,3 % | 50 % | 28,6 % | 78,6 % | 21,4 % | 71,4 % |
| Taux de réussite à l'essai d'ajustement (CA>100) sur les 3 poses | 19 % | 52,4 % | 35,7 % | 66,7 % | 47,6 % | 71,4 % |

Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins

Figure 8 : Port du masque avec une barbe de 3 jours (sujet 1)



à plis, de classe FFP3) en portant une barbe de 3 jours, comme illustré sur la [figure 8](#). Les résultats de la comparaison des coefficients d'ajustement entre le même sujet rasé et avec une barbe de 3 jours sont donnés sur la [figure 9](#).

Ces résultats montrent que la présence d'une barbe, même de quelques jours, dégrade l'ajustement qui n'est plus du tout maîtrisé. Selon le modèle de masque la chute du coefficient d'ajustement est variable mais peut être très importante, comme c'est le cas pour le modèle bec de canard qui s'ajustait très bien au visage du sujet rasé. Un ajustement correct d'un demi-masque de type FFP2 ne peut donc être obtenu sans un rasage préalable.

CONFORT

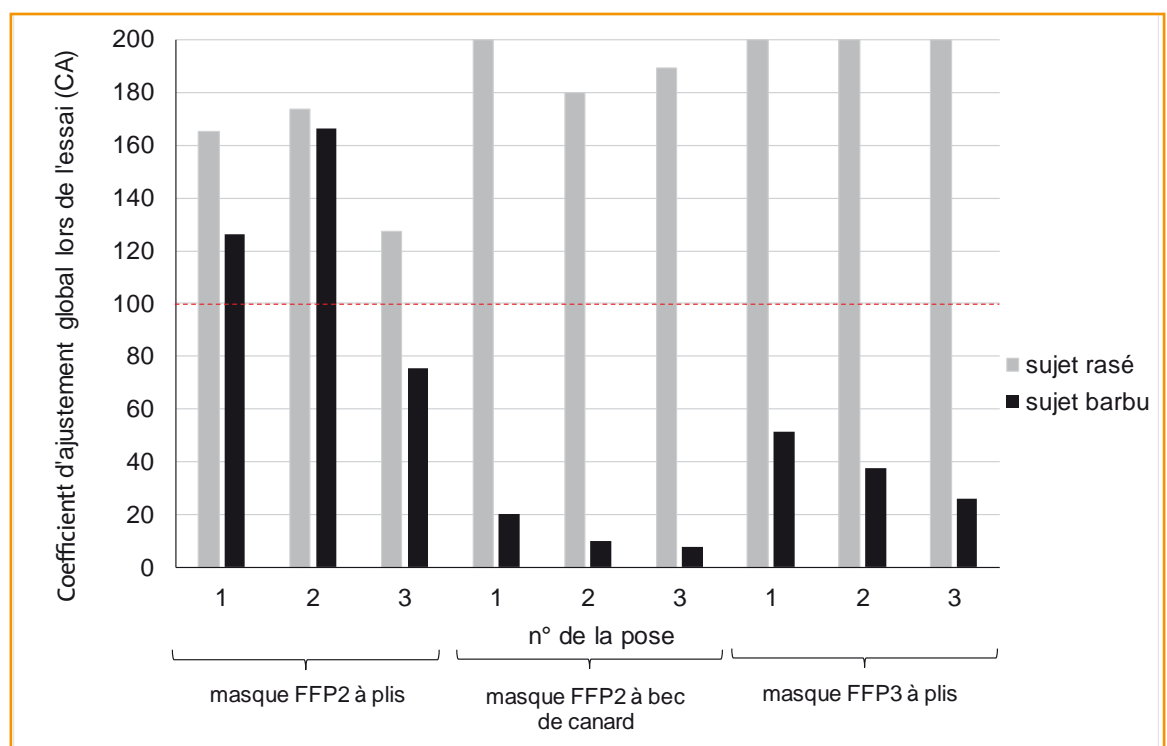
Comme indiqué dans l'ED 6273 [3], la mesure du coefficient d'ajustement garantit que le masque respiratoire s'ajuste bien au visage du porteur mais cela ne signifie pas forcément que le modèle de masque sélectionné sera suffisamment confortable pour être

toléré par le porteur. Le [tableau VIII](#) regroupe quelques exemples de commentaires négatifs sur le confort de certains masques pour lesquels les sujets interrogés avaient validé l'essai d'ajustement. Ces exemples montrent que, même si l'essai d'ajustement est réussi, le masque n'est pas forcément adapté au porteur du fait de la présence de lunettes ou d'une sensibilité cutanée ou encore du besoin de confort respiratoire propre à chacun.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats de cette étude ont permis de tester l'ajustement d'un grand nombre de modèles de masques sur des sujets de dimensions faciales variées

Figure 9 : Coefficient d'ajustement global pour 3 poses et 3 modèles de masque pour un sujet masculin rasé et le même sujet barbu



↓ Tableau VIII

➤ EXEMPLES DE REMARQUES DES SUJETS SUR LE CONFORT DE CERTAINS MODÈLES DE MASQUE

| Numéro de sujet (numéro de cellule du panel NIOSH) | Coefficient d'Ajustement global (CA) <i>Forme de masque</i> | Commentaire du sujet après avoir porté le masque pendant 15 min |
|--|--|---|
| 2 (cellule 6) | 173 <i>bec de canard</i> | « Il m'écrase le nez. Je suis obligé de respirer par la bouche. » |
| 1 (cellule 7) | 200 <i>à plis</i> | « Ce masque est trop serré, c'est un appareil de torture. » |
| 4 (cellule 3) | 181 <i>coquille</i> | « Je louche car mes lunettes sont mal positionnées. Je suis obligée d'enlever mes lunettes. » |
| 7 (cellule 1) | 153 <i>à plis</i> | « Le masque me rentre presque dans les yeux quand je baisse la tête. » |
| 8 (cellule 6) | 200 <i>à plis</i> | « Il tient bien chaud celui-là. C'est le masque d'hiver. C'est difficile de parler avec. » |
| 8 (cellule 6) | 156 <i>à plis</i> | « La mousse n'est pas assez souple sur le nez. On sent la barrette en métal. Je ne pourrais pas le porter 1h. » |
| 11 (cellule 9) | 200 <i>à plis</i> | « Il m'écrase le nez. Le tissu est toujours en contact avec la peau. Soit tu parles, soit tu respire. La languette en dessous m'étrangle. » |
| 9 (cellule 1) | 182 <i>coquille</i> | « Je ne peux pas porter mes lunettes de vue et lorsque je baisse la tête, il me rentre dans l'œil. » |
| 6 (cellule 3) | 200 <i>coquille</i> | « Il me fait loucher. Ça épuise de respirer avec. Et il pique dans tous les sens. Si j'avais pu, je l'aurais enlevé. » |

Du fait de leur fréquente utilisation en milieu de soins, de nombreux modèles de masques bec de canard ont été testés avec des résultats très hétérogènes selon le *design* du modèle mais globalement bien inférieurs aux résultats obtenus pour les modèles coquille ou à plis. Cette conclusion s'applique à l'ensemble des sujets quelles que soient les dimensions de leur visage.

Il a néanmoins été montré que les résultats des essais d'ajustement étaient bien meilleurs pour les visages « de taille moyenne » (cellules 3, 6 et 7) que pour ceux très petits (cellule 1) et très large (cellule 9). Une attention particulière devrait donc être apportée lors du choix des masques pour des salariés dont les dimensions du visage appartiennent à ces deux dernières cellules.

Peu de données ont été obtenues sur l'effet de la taille du masque du fait du très faible nombre de modèles présents en plusieurs tailles et utilisés actuellement dans les établissements de soins. Dans l'étude présente, pour les modèles

testés, le bénéfice de différentes tailles n'a pas été démontré. Des études complémentaires seraient nécessaires pour explorer ce point. L'étude a par ailleurs montré que les sujets ayant une bonne expérience du port des masques respiratoires avaient un meilleur taux de réussite aux essais d'ajustement.

Les essais, même s'ils ne portent que sur un seul sujet, confirment également l'importance du rôle du rasage sur l'ajustement d'un masque FFP. Ces conclusions montrent l'importance de la formation au port d'un APR.

L'ensemble de ces résultats confirme la nécessité de disposer de différents modèles de masques FFP2 en milieu de soins afin de déterminer, par l'intermédiaire d'essais d'ajustement, le modèle de masque adapté à chacun.

Une stratégie en deux étapes pourrait être envisagée pour les établissements de soin qui doivent engager une campagne d'essais d'ajustement pour un grand nombre de salariés. L'objectif de la première étape serait de sélectionner un petit nombre de modèles

de masques à partir d'essais d'ajustement simplifiés, tels que réalisés dans cette étude, sur un panel de sujets. Ces modèles de masques seraient proposés dans une deuxième étape à l'ensemble des salariés pour un essai d'ajustement complet. En effet, seuls les protocoles complets, validés selon l'ANSI Z88.10 [9], permettent de statuer sur l'ajustement au visage. De manière plus détaillée, la stratégie proposée pourrait s'inspirer des travaux de Lee [10] :

Étape 1 :

- Sélectionner un petit nombre de salariés (<50) de dimensions faciales variées au sein du *bivariate panel* du NIOSH.
- Sélectionner un petit nombre de modèles de masques (au moins 3) parmi ceux couramment utilisés par les établissements de soins (référencés sur le site du GERES), en incluant au moins deux formes de masques différentes.
- Réaliser des essais d'ajustement simplifiés selon le protocole décrit au paragraphe *Protocole d'essais d'ajustement* (pp. 55-56).

Évaluation de l'ajustement des appareils de protection respiratoire de type pièce faciale filtrante (FFP) utilisés en milieu de soins

- Analyser les résultats afin de sélectionner 2 ou 3 modèles de masques pour lesquels :
 - le taux de réussite aux essais d'ajustement simplifiés est le plus élevé ;
 - le confort est bon.

Étape 2 :

- Réaliser les essais d'ajustement complets, sur l'ensemble des salariés amenés à porter cet équipement de protection individuelle (EPI) et pour les 2 ou 3 modèles de masque choisis à l'étape 1, selon l'un des protocoles décrits dans le guide INRS ED 6273 [3].

POINTS À RETENIR

- Chaque sujet peut trouver un modèle de masque qui s'ajuste à son visage.
- Néanmoins :
 - il existe une grande variabilité des résultats à l'essai d'ajustement pour un même modèle de masque en fonction du sujet ;
 - les masques bec de canard sont plus difficiles à ajuster ;
 - les sujets dont les visages ont des dimensions très petites ou très larges ont plus de difficultés à trouver un modèle qui s'ajuste bien à leur visage ;
 - un masque peut être bien ajusté mais trop inconfortable pour être porté correctement.

BIBLIOGRAPHIE

1 | PELLISSIER G, LOLOM I, BALTY I, SIMON L ET AL. - Appareils de protection respiratoire utilisés dans les établissements de santé français dans le cadre des précautions « air » en 2018. *Vu du terrain TF 278. Réf Santé Trav.* 2020 ; 161 : 67-74.

2 | 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://www.sf2h.net/publications/avis-n-2018-01-sf2h-du-23-mars-2018-relatif-au-](https://www.sf2h.net/publications/avis-n-2018-01-sf2h-du-23-mars-2018-relatif-au-choix-et-a-lutilisation-adaptee-dun-appareil-de-protection-respiratoire)

[choix-et-a-lutilisation-adaptee-dun-appareil-de-protection-respiratoire](https://www.sf2h.net/publications/avis-n-2018-01-sf2h-du-23-mars-2018-relatif-au-choix-et-a-lutilisation-adaptee-dun-appareil-de-protection-respiratoire)).

3 | CHAZELET S, GUIMON M - Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement. Aide-mémoire technique. Édition INRS ED 6273. Paris : INRS ; 2016 : 20 p.

4 | GUIMON M, CHAZELET S - Ajustement des appareils de protection respiratoire. Mise au point TP 33. *Ref Santé Trav.* 2019 ; 158 : 109-16.

5 | 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.

6 | ZHUANG Z, COFFEY CC, BERRY ANN R - The effect of subject characteristics and respirator features on respirator fit. *J Occup Environ Hyg.* 2005 ; 2 (12) : 641-49.

7 | ZHUANG Z, GROCE D, AHLERS HW, ISKANDER W ET AL. - Correlation between respirator fit and respirator fit test panel cells by respirator size. *J Occup Environ Hyg.* 2008 ; 5 (10) : 617-28.

8 | CRUTCHFIELD CD, FAIRBANK EO, GREENSTEIN SL - Effect of test exercises and

mask donning on measured respirator fit. *Appl Occup Environ Hyg.* 1999 ; 14 (12) : 827-37.

9 | Respirator Fit Testing Methods. ANSI/AIHA Z88.10-2010. Fairfax : American Industrial Hygiene Association (AIHA) ; 2010 : 40 p.

10 | LEE K, SLAVCEV A, NICAS M - Respiratory protection against Mycobacterium tuberculosis: quantitative fit test outcomes for five type N95 filtering-facepiece respirators. *J Occup Environ Hyg.* 2004 ; 1 (1) : 22-28.

Les facteurs potentiels de « décrochage professionnel » : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère

AUTEURS :

A. Bernard¹, P. Bossi¹, F. Cabanat¹, S. Garcia¹, S. Leclercq¹, E. Meynier¹, D. Rieu¹, C. Suau¹, E. Bossi², I. Bianzina³, M. Jauvert Galy³, S. Volkoff⁴, S. Guyot⁵

1. Centre médical interentreprises de santé au travail – CMIST– d'Alès et de la Lozère *

2. Centre hospitalier régional universitaire, Montpellier

3. Centre interinstitutionnel de bilan de compétences – CIBC

4. Centre de recherche sur l'expérience, l'âge et les populations au travail – CREAPT

5. Département Homme au travail, INRS

EN RÉSUMÉ

Cette enquête, menée parmi des salariés de 45 à 55 ans, en 2019, dans un service de santé au travail avait pour objectif de repérer de potentiels signes d'un décrochage professionnel à venir. Près de 600 salariés, représentatifs des salariés de cet âge suivis par ce service, ont été interrogés. Trois questions spécialement étudiées portaient sur le ressenti du salarié à son poste actuel (16,6 % se sont cotés à 5 ou moins, sur une échelle de 0 très mal à 10 très bien), son éventuel sentiment de manque de compétences (33,5 % des répondants) et son pronostic sur sa capacité de tenir dans ce travail à distance de trois ans, compte tenu de son état de santé (29,1 % en doutent). L'analyse montre, d'une part, quelles sont les caractéristiques du travail ou de la santé, parfois nombreuses, associées à ces questions et d'autre part l'influence du cumul de facteurs pénalisants.

MOTS CLÉS

Travailleur âgé / Travailleur vieillissant / Conditions de travail / Organisation du travail / Enquête / Satisfaction au travail / Bien-être au travail

* Ont participé également à l'enquête pour le CMIST :
N. Cherel,
L. Delon,
S. Dubois,
H. François,
A.M. Ghenti,
V. Lajeunesse,
M. Massador,
V. Reverdit,
F. Robert,
M. Vasile,
F. Zaharia.

Cet article présente les principaux résultats d'une enquête sur la santé au travail des salariés de 45 à 55 ans, menée au sein d'un service de santé au travail en 2019. Cette enquête constitue le premier temps d'un dispositif d'étude en cours, échelonné sur trois ans, et portant sur la thématique du « décrochage professionnel » qui peut survenir chez les salariés de cette tranche d'âge ou dans les années qui suivent. L'exploration des facteurs d'un tel « décrochage » est conduite en examinant simultanément des éléments de parcours professionnel, de rapport au travail, de mobilisation des compétences et d'évolution de la santé. Cette problématique est présente de longue date dans les services de santé au travail et son importance devrait pour le moins se maintenir dans les prochaines années. Les actifs nés pendant le « baby-boom » (les années 1945-1973) sont nombreux et leur proportion s'accroît en lien avec les

réformes des retraites et le resserrement des possibilités de départs anticipés. Mais l'appartenance à la « population active » n'implique pas d'avoir (ou de retrouver) un emploi, ni *a fortiori* d'y exercer pleinement ses capacités, développer ses compétences et préserver sa santé.

Les éléments analysés par France Stratégie [1] ont rappelé utilement que, chez les demandeurs d'emploi les plus âgés, la durée moyenne de chômage est nettement plus longue que chez les plus jeunes. En outre, à mesure que cette durée s'allonge, les probabilités de retour à l'emploi s'amenuisent, et cette perspective est à la fois « intériorisée » par les chômeurs eux-mêmes [2] et par les professionnels du service public de l'emploi qui se mobilisent moins activement auprès des « âgés » [3]. Si un retour à l'emploi advient finalement, il est fréquent qu'il s'assortisse de conditions dégradées, en termes notamment de qualification ou de stabilité du statut [4].

Les facteurs potentiels de « décrochage professionnel » : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère

À l'arrière-plan de ces difficultés, de nombreux auteurs pointent des attitudes réticentes d'une partie des employeurs : embaucher un « sénior » est parfois vu comme une prise de risque parce que celui-ci serait censément moins « adaptable » à des situations nouvelles, à des apprentissages [5]. Ces mêmes appréciations, discutables au regard des connaissances scientifiques sur le vieillissement au travail, se traduisent aussi, s'agissant cette fois des salariés en emploi, par un moindre accès des salariés âgés aux formations professionnelles, qu'il s'agisse de se perfectionner ou de préparer une mobilité [6].

Ainsi peuvent se mettre en place des processus de dégradation des conditions d'emploi et de travail dans les dernières années de vie active [7]. Ces processus peuvent aboutir à de multiples formes de rupture (perte d'emploi et difficulté à en retrouver, précarisation, maintien fragile dans une situation marginale ou mal considérée, absences longues ou répétées pour raison de santé...), rassemblées sous le vocable de « décrochage professionnel » dans cet article. Le lancement de l'étude dont il est question ici a procédé d'une volonté d'intervenir en prévention de tels processus et, dans ce cadre, de donner toute leur place aux enjeux de santé qui s'y trouvent mêlés.

Cela suppose d'adopter, à l'égard du vieillissement au travail, une approche nuancée et conditionnelle [8]. Ce vieillissement ne constitue ni une évolution sans importance, ni à l'inverse un mécanisme uniforme de détérioration. Il est éminemment variable selon les personnes. Les évolutions qu'il comporte (en termes de santé, de capacités de travail) dépendent fortement du passé professionnel et des contraintes de travail actuelles. Il s'articule en outre

avec une construction continue de l'expérience professionnelle et un usage précieux de celle-ci, pour peu que l'organisation du travail et les modalités d'apprentissage s'y prêtent. En première analyse, donc, la prévention des « décrochages » repose sur une atténuation des facteurs de déficience liés (statistiquement) à l'avancée en âge, et sur un soutien au développement et à la mobilisation de l'expérience.

Les conditions de travail sont ainsi fortement en cause. Elles peuvent être à l'origine de mécanismes d'usure au fil des années ou, au contraire, favorables à des modes de développement. Elles peuvent être impliquées dans des formes de mises à l'abri (ou de mises à l'écart), accentuées avec l'âge, au regard de certaines contraintes ou exigences : cela a pu être montré notamment dans le cas des postures sollicitantes, des situations d'urgence fréquentes, des changements technologiques et organisationnels répétés et peu anticipés [9]. Elles peuvent permettre ou non la mise en œuvre de stratégies de travail faisant largement appel aux ressources de l'expérience.

En parallèle, la santé évolue elle aussi et ses relations avec le travail relèvent d'un « écheveau » d'interrelations [10], plus ou moins immédiates, parfois largement différées. Cette évolution est émaillée d'événements, comme la survenue de pathologies ou d'accidents. Elle se marque aussi dans l'expansion éventuelle de troubles infra-pathologiques, comme des douleurs, de la fatigue, ou une mauvaise qualité du sommeil. Ces processus peuvent à leur tour déboucher sur des restrictions d'aptitude, des besoins de réaménagement de postes, une appréciation moins favorable des capacités de travail par l'entourage professionnel ou par le salarié lui-même.

Dans ce faisceau d'éléments et d'interrelations, cet entrecroisement des questions d'emploi, de travail, de santé, de compétences, les « décrochages » et leurs prémices sont souvent vécus et commentés en termes individuels, avec même « une forme de repli sur la sphère privée » [2]. Telle ou tel « a lâché prise », « perd pied » ou « ne trouve plus sa place ». Il est pourtant du ressort des protagonistes en charge des divers aspects de la vie professionnelle (responsables des ressources humaines, services de santé au travail, acteurs sociaux...) de redonner au contraire à ces enjeux une dimension collective.

Cette préoccupation a motivé la décision du Centre médical interentreprises de santé au travail (CMIST) d'Alès et de la Lozère de mener une investigation sur les « facteurs de décrochage », en s'associant d'emblée avec un organisme de bilan de compétences, le Centre interinstitutionnel de bilan de compétences (CIBC), et avec deux chercheurs spécialistes des questions de vieillissement au travail. Dans ce service, les données démographiques analysées de 2013 à 2017 montraient une augmentation régulière de la population des salariés suivis dans la tranche d'âge des 45-55 ans. Le service relevait par ailleurs que cette population était particulièrement impactée en termes de pathologies, de handicaps et d'inaptitudes médicales déclarées. Le maintien en emploi d'une bonne partie d'entre eux, au vu de l'allongement des carrières professionnelles, apparaissait problématique.

L'objectif était donc de mettre en évidence des indicateurs anticipateurs d'un potentiel « décrochage ». Ces indicateurs ont été recherchés au travers d'une enquête statistique, mais aussi par un suivi régulier des salariés repérés par

des professionnels du CMIST et une prise en charge précoce par les psychologues du CIBC, appelés à mettre en place des outils utilisables dans des collectifs ou dans le cadre de prises en charge individuelles. Le présent article a pour objet de présenter les principaux résultats d'une première vague de recueil de questionnaires.

MÉTHODE

DÉROULÉ DE L'ENQUÊTE

L'étude repose sur la passation de questionnaires auprès d'individus âgés de 45 à 55 ans, à deux dates, en 2019 puis en 2022. La méthodologie et les résultats présentés concernent la première phase de l'enquête. Celle-ci a été menée en 2019 par les médecins du travail et infirmiers de santé au travail volontaires du CMIST d'Alès et de la Lozère, soit l'ensemble des effectifs infirmiers et la moitié de ceux des médecins.

En préalable à leur visite d'information et de prévention, les salariés se sont vu proposer de participer à une enquête sur la vie professionnelle et la santé des 45-55 ans au travers d'un auto-questionnaire à remplir en salle d'attente. Ce questionnaire était soumis à l'ensemble des salariés de la tranche d'âge concernée quel que soit leur état de santé, dès lors qu'ils venaient en visite périodique, ou en visite de reprise couplée à une visite périodique. Ont été également intégrés les salariés rencontrés dans le cadre d'une visite d'embauche, en poste depuis au moins trois mois, et pouvant dès lors répondre aux questions relatives aux conditions de travail de leur nouvel emploi. Une fois le questionnaire rempli, le salarié était reçu par le médecin ou l'infirmier pour sa visite. À son

terme, le volet médical du questionnaire était renseigné par le professionnel de santé. Les réponses rendues anonymes étaient ensuite saisies conjointement par les chercheurs du Centre de recherche sur l'expérience, l'âge et les populations au travail (CREAPT) et de l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des risques et des maladies professionnelles (INRS).

La première phase de recueil s'est déroulée entre mars et juillet 2019. Cette durée permettait tout à la fois de récolter un nombre suffisant de questionnaires pour une exploitation statistique satisfaisante et, aux équipes de santé au travail, de rester mobilisées et impliquées dans l'enquête. Son calendrier tenait compte du protocole de suivi des salariés mis en place entre les deux temps de passation du questionnaire. Tous les 6 mois, les salariés répondants font l'objet d'une interrogation, par voie téléphonique, sur l'évolution de leur situation professionnelle et de leur état de santé. Une trace des changements vécus et de leurs impacts est ainsi conservée. Ce suivi est l'occasion également de maintenir un contact régulier avec les sujets et, au besoin, d'assurer auprès d'eux un accompagnement social, psychologique ou médical ponctuel. Cet ensemble d'éléments sera intégré aux analyses qui suivront la deuxième phase, en 2022.

PRÉSENTATION DU QUESTIONNAIRE

Le questionnaire comprend deux volets. Le premier volet de 4 pages, rempli par le salarié, investigate principalement :

- son parcours professionnel, au travers de 10 questions tenant : à ses conditions d'emploi antérieures et aux périodes de chômage ou d'inactivité liées à des problèmes

de santé, aux caractéristiques actuelles et passées de son travail, aux impacts des changements professionnels vécus au cours des 5 dernières années, aux formations suivies dans l'année précédente ;

- ses difficultés éventuelles dans son travail actuel et leur évolution avec l'avancée en âge, en indiquant, parmi plusieurs contraintes de travail relatives à l'environnement physique et psychosocial, aux postures de travail, aux charges physiques, aux rythmes et horaires de travail notamment, celles auxquelles le salarié se juge exposé, et, parmi elles, celles dont il considère que le vécu est plus pénible avec l'avancée en âge ;

- ses appréciations sur son travail, à partir de 12 questions portant notamment sur : la variété de son travail, son autonomie, ses possibilités de coopération, la reconnaissance de son travail, l'utilité et la fierté du travail accompli, les compétences manquantes, les sentiments d'être dépassé par les changements et de vieillir en raison du travail, les possibilités de conciliation entre vie professionnelle et personnelle ;

- ses espoirs ou inquiétudes envers son avenir professionnel : à partir de 3 questions portant sur ses perspectives de promotion ou de changement de métier, ses craintes pour l'emploi, son souhait de continuer à faire le même travail jusqu'à la retraite ;

- ses appréciations sur sa santé, en explorant par 8 questions l'état actuel de santé perçu et sa dégradation dans les dernières années, les troubles de santé récents et la gêne qu'ils constituent dans le travail, et par deux autres questions le pronostic du répondant quant à ses capacités à trois ans de pouvoir effectuer son travail actuel compte tenu de son état de santé, et son ressenti d'ensemble vis-à-vis de son poste de travail.

Les facteurs potentiels de « décrochage professionnel » : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère

Le second volet du questionnaire est rempli par le professionnel de santé à l'issue de la visite et reprend, sur 2 pages, différentes informations médicales relatives au salarié : ses pathologies graves, ses consultations médicales et leur fréquence depuis la dernière visite périodique, les prises médicamenteuses et leur évolution récente, ses absences, leur durée et leur lien avec des troubles préexistants, ses restrictions d'aptitude (ou inaptitude médicale) et aménagements de poste associés, sa reconnaissance éventuelle en invalidité ou comme travailleur handicapé.

Les questions choisies et leur formulation sont issues ou inspirées de dispositifs statistiques interprofessionnels comme les enquêtes Conditions de Travail de la Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques (DARES) et de l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), le dispositif EVREST (Évolutions et relations en santé au travail), ainsi que les enquêtes SVP50 (Santé et Vie professionnelle après 50 ans) et VISAT (Vieillesse, Santé et Travail).

TROIS QUESTIONS CLÉS

Trois questions ont été retenues pour faire l'objet d'exploitations particulières.

La première d'entre elles cumule une appréciation par le salarié de son état de santé et de son travail, au travers de la formulation suivante : « *Comment vous sentez-vous sur votre poste de travail ?* ». Les réponses sont exprimées sur une échelle en 10 points (0 correspondant à une réponse très négative et 10 à une réponse très positive).

La seconde question interroge sur le manque de compétences estimé pour réaliser son travail : « *Pensez-vous que pour faire correctement*

vos travail, certaines compétences vous manquent ? ». À cette question, trois modalités de réponse sont proposées : oui, non, ne sait pas.

Enfin, la troisième porte sur l'évaluation à trois ans des capacités à faire son travail eu égard à sa santé : « *Pensez-vous que dans trois ans, votre état de santé vous permettra d'effectuer votre travail actuel ?* ». Trois réponses sont possibles : non, sans doute pas ; non, ce n'est pas sûr ; oui, c'est à peu près certain.

Les réponses négatives à ces questions ont été considérées comme à risques quant au futur professionnel des salariés. Les échanges entre professionnels de santé et chercheurs, dans le comité de pilotage de l'enquête, ont amené à considérer que ne pas se sentir bien à son poste de travail, ne pas disposer de compétences suffisantes pour effectuer au mieux son travail, ne pas être sûr de pouvoir poursuivre son activité professionnelle en raison de sa santé, constituent autant de facteurs de fragilisation importants susceptibles de favoriser à terme un décrochage professionnel. Liés ou non entre eux, ces items paraissent assez bien rendre compte des potentialités de retrait ou de fragilisation de l'emploi chez les salariés de plus de 45 ans.

TRAITEMENTS STATISTIQUES

Pour chacune des trois questions clés, les mêmes types de traitement statistiques ont été employés. Des tris à plat ont été réalisés en fonction du sexe, des tranches d'âge (45-48 ans ; 49-52 ans ; 53-55 ans), des catégories socioprofessionnelles et des secteurs d'activité. Puis, des tris croisés ont été effectués afin de mettre en relation les réponses à chacune des questions clés avec les autres items du questionnaire. Ce type de traitement permet de

repérer l'importance des relations statistiques entre ces variables et chacune des trois questions. Les variables reliées les plus significativement ont été ensuite introduites dans une régression logistique multivariée afin d'identifier celles aux probabilités relatives les plus élevées d'avoir des réponses négatives aux différentes questions clés. Dans la présentation, seules les variables significatives au seuil $p < 0,05$ ont été retenues pour les première et troisième questions ; et $p < 0,1$ pour la seconde question sur les compétences manquantes (pas de significativité au seuil de 5%). Des analyses complémentaires concernant la question sur le pronostic à trois ans ont été menées. Elles croisent les réponses négatives à la question, d'une part, avec le nombre de contraintes dans le travail rendues plus difficiles avec l'âge et, d'autre part, avec le nombre de troubles de santé occasionnant une gêne dans le travail. Enfin, les questions clés ont été croisées entre elles, deux à deux, pour examiner dans quelle mesure les réponses défavorables se rencontrent souvent (ou rarement) chez les mêmes répondants.

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCHANTILLON

Au cours de ces 5 mois de collecte, parmi les 660 salariés à qui le questionnaire a été proposé, 66 ont refusé (principalement pour des raisons de manque de temps). Ont donc été analysés 594 questionnaires. Plus de la moitié ont été remplis lors de visites périodiques, un quart pendant des visites d'embauche, et un dixième lors de visites de reprise, couplées aux visites périodiques (le solde

étant réparti sur d'autres motifs). Les deux sexes et les années d'âge sont représentés à parts à peu près égales. Les répondants sont majoritairement en contrat à durée indéterminée (83 %) et à temps complet (77 %).

Les ouvriers et employés constituent en grande partie l'échantillon, avec 72 % de l'ensemble des répondants (ouvriers et employés à parts égales) tandis que les professions intermédiaires regroupent 17,4 % des effectifs. Les cadres n'en représentent qu'une part mineure (6 %). Les proportions les plus importantes de sujets étaient dans les secteurs de la santé et de l'action sociale (20,4 %), du commerce (16,3 %), dans les industries manufacturières (10,9 %) et le bâtiment et les travaux publics (8,1 %). Le reste de l'échantillon se répartit en petits nombres dans différents autres codes de nomenclatures d'activité (code NAF). La population de répondants aux questionnaires était comparable en âge, sexe, catégorie socioprofessionnelle et secteur d'activité à celle des 45-55 ans suivis en 2019 par le service de santé au travail.

RÉPONSES AUX TROIS QUESTIONS CLÉS

Pour chacune de ces questions, les réponses favorables prédominent. Pour la question 1 (tableau I), les cotations les plus basses sont rares, ce qui conduit à englober les réponses de 0 à 5 (soit 16,6 % de l'ensemble), sous l'appellation : salariés qui « ne se sentent pas bien à leur poste ». Pour la question 2 (tableau II), les réponses « défavorables », soit l'idée de ne pas disposer de toutes les compétences nécessaires, représentent un tiers de l'échantillon. Pour la question 3 (tableau III), enfin, la proportion de répondants qui ne sont pas sûrs qu'à horizon de trois ans leur santé

Tableau I : Ressenti au poste de travail
« Comment vous sentez-vous actuellement sur votre poste de travail ? »

| | effectifs | % |
|----------------------------------|------------|------------|
| 0 très mal | 5 | 0,9 |
| 1 | 1 | 0,2 |
| 2 | 2 | 0,3 |
| 3 | 9 | 1,6 |
| 4 | 17 | 2,9 |
| 5 | 62 | 10,7 |
| 6 | 61 | 10,6 |
| 7 | 105 | 18,2 |
| 8 | 173 | 30,0 |
| 9 | 64 | 11,1 |
| 10 très bien | 78 | 13,5 |
| Total (hors non-réponses) | 577 | 100 |

Tableau II : Sentiment de manque de compétences

« Pensez-vous que pour faire correctement votre travail, certaines compétences vous manquent ? »

| | effectifs | % |
|----------------------------------|------------|------------|
| non | 315 | 53,3 |
| ne sait pas | 78 | 13,2 |
| oui | 198 | 33,5 |
| Total (hors non-réponses) | 591 | 100 |

Tableau III : Sentiment que le travail est soutenable à 3 ans

« Pensez-vous que dans 3 ans votre état de santé vous permettra d'effectuer votre travail actuel ? »

| | effectifs | % |
|----------------------------------|------------|------------|
| non, sans doute pas | 20 | 3,4 |
| non, ce n'est pas sûr | 150 | 25,7 |
| oui, c'est à peu près certain | 414 | 70,9 |
| Total (hors non-réponses) | 584 | 100 |

leur permettra encore de tenir leur emploi actuel est de 29,1 % (dont 3,4 % qui ont répondu plus nettement : « non, sans doute pas »).

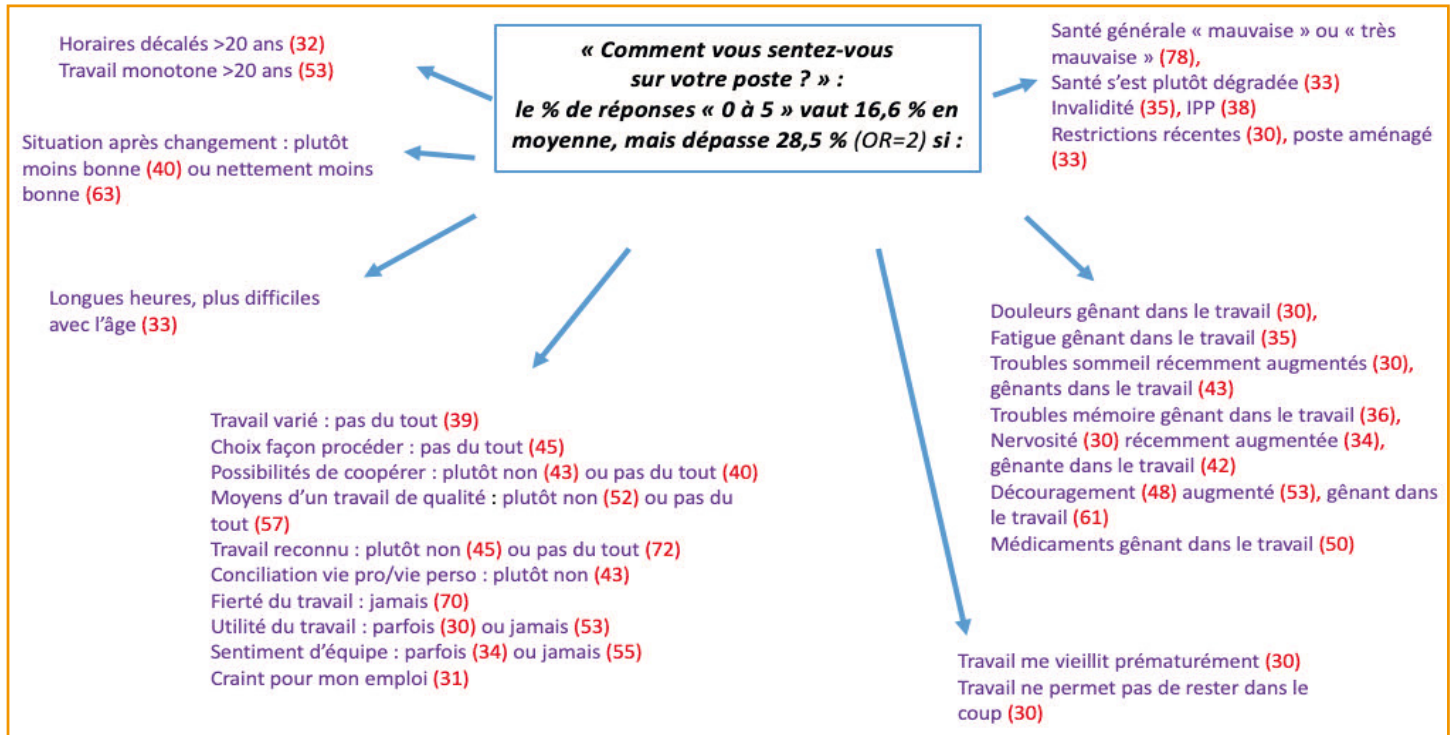
LE RESENTI AU POSTE DE TRAVAIL

Sont considérées ici comme facteur potentiel de « décrochage » les cotations de 0 à 5, en admettant que ces répondants ne se sentent pas « bien » sur leur poste de travail. La proportion est plus élevée chez les femmes (18 %) que chez les hommes (14 %). Il n'y a pas de tendance nette en fonction des sous-catégories d'âge. Le pourcentage est plus élevé chez les cadres et les employés (19 %) que dans les professions intermédiaires (15 %) et chez les ouvriers (14 %). En découpage sectoriel, il est plus élevé dans la santé et l'action sociale (18 %) que dans le commerce (15 %), les industries manufacturières (12 %) ou la construction (10 %).

Pour rechercher les caractéristiques du travail et de la santé qui seraient fortement en lien avec ce ressenti défavorable, les variations de ce pourcentage selon les réponses aux différents items et parties du questionnaire ont été examinées. La figure 1 page suivante rassemble les items dont la présence s'accompagne d'une association avec un odds ratio (OR – rapport des cotes) supérieur à un seuil fixé à 2 entre l'item évalué et la catégorie « ne se sentent pas bien à leur poste ». Relèvent notamment de cette catégorie deux items de parcours professionnel (longue période d'horaires décalés ou de travail monotone), des changements récents mal vécus, plusieurs facteurs psychosociaux de risques (en termes notamment de qualité du travail, de reconnaissance, de fierté), des troubles de santé jugés « gênants » dans le travail (dans la sphère neuropsychique surtout) et plus généralement une santé jugée

Les facteurs potentiels de « décrochage professionnel » : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère

Figure 1: Proportion de salariés ne se sentant pas bien à leur poste de travail dans les différents sous-groupes (ne pas se sentir bien = cotations de 0, très mal, à 5, sur une échelle allant jusqu'à 10, très bien. En rouge le pourcentage de répondants)

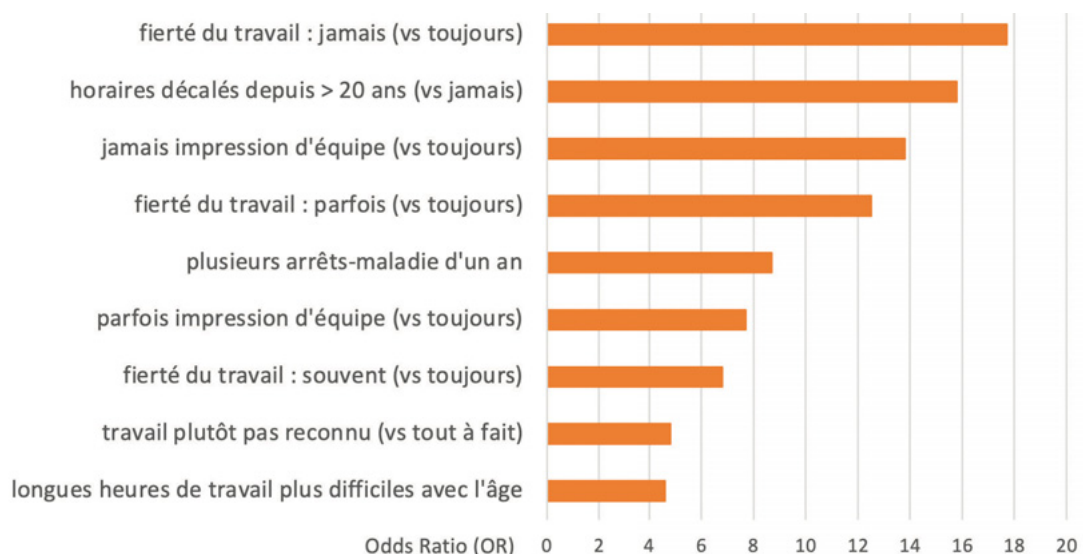


« mauvaise » ou « très mauvaise », ou encore les situations d'invalidité ou d'incapacité permanente. Pour affiner cette analyse, a été utilisé un modèle de régression logistique où les items présentant

une relation binaire significative ont été considérés en tant que variables explicatives. Neuf items sont associés à une augmentation significative ($p < 0,05$) de la probabilité de ne pas se sentir bien à son

poste de travail, toutes variables égales par ailleurs (figure 2). Les OR correspondants sont très élevés (entre 4 et 18) pour certains facteurs psychosociaux (manque de fierté du travail, de reconnaissance, de

Figure 2 : Association entre la catégorie de salariés ne se sentant pas bien à leur poste de travail et différents facteurs aggravants (ne pas se sentir bien = cotations de 0, très mal, à 5, sur une échelle allant jusqu'à 10, très bien)



sentiment d'équipe), pour l'impression que les longues heures de travail sont « plus difficiles avec l'âge » et pour deux éléments du parcours antérieur : une longue exposition aux horaires de nuit et la répétition d'absences pour maladie.

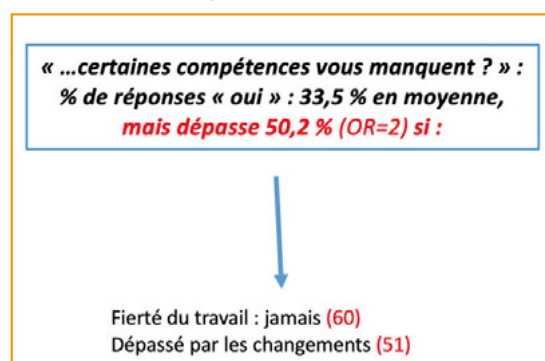
LA QUESTION DES COMPÉTENCES MANQUANTES

Parmi les répondants, 33,5 % ont répondu « oui » à la question : « *Pensez-vous que pour bien faire votre travail des compétences vous manquent ?* ». Les taux sont un peu plus élevés chez les femmes (35 %) que chez les hommes (30 %) et leur variation avec l'âge ne présente pas de tendance nette. Ils sont par ailleurs plus élevés pour les professions intermédiaires (46 %) et les cadres (44 %) que pour les employés (29 %) et les ouvriers (26 %). Dans la comparaison entre secteurs, la « santé et action sociale » est à nouveau très concernée (43 %).

Un croisement avec l'ensemble des items du questionnaire permet de trouver une association avec un OR de 2 ou plus pour deux d'entre eux : le manque de fierté dans le travail et le fait d'être dépassé par les changements (figure 3).

Aucun facteur déterminant ne ressort par régression logistique avec un risque de 5 % d'erreur. Avec un risque à 10 %, on trouve que l'augmentation de la probabilité de compétences jugées manquantes pour bien réaliser son travail est associée à quatre facteurs (OR variant entre 1,8 et 1,6) : trois facteurs psychosociaux de risques (relevant des conflits de valeurs, du sentiment d'être dépassé par les changements ou d'un manque de variété du travail) et un parcours comportant une durée moyenne d'horaires décalés (donc peut-être une reconversion insatisfaisante depuis lors).

Figure 3 : Pourcentage de salariés manquant selon eux de compétences pour bien faire leur travail, dans les différents sous-groupes



LA QUESTION DE L'AVENIR PROFESSIONNEL AU MÊME TRAVAIL À 3 ANS EN FONCTION DE L'ÉTAT DE SANTÉ

Ce troisième volet d'analyse concerne les salariés ayant répondu « non, sans doute pas » ou « non, ce n'est pas sûr » à la question : « *Pensez-vous que dans 3 ans votre état de santé vous permettra d'effectuer votre travail actuel ?* ». La différence de réponses selon le sexe est ici peu marquée. En revanche, une nette progression de réponses globalement négatives est notable après 53 ans : la proportion passe de 26 à 41 %. Un fort gradient selon la catégorie socioprofessionnelle est constaté : de 43 % chez les ouvriers à 12 % chez les cadres, en passant par 30 % pour les employés et 22 % dans les professions intermédiaires. En cohérence avec ce résultat, le pourcentage de réponses globalement négatives est nettement plus élevé dans la construction (40 %) que dans le commerce (23 %).

Dans le croisement avec les items du questionnaire, ceux qui sont assortis d'un pourcentage de plus de 45 % (OR = 2 par rapport à la moyenne d'ensemble : 29,1 % des répondants) sont rassemblés dans la figure 4 page suivante.

Du côté du travail apparaissent de nombreux items de charge physique, dès lors que le salarié les juge « plus difficiles avec l'âge ». S'y adjoignent plusieurs facteurs psychosociaux de risques, une appréciation d'ensemble négative sur l'état de santé, l'existence de prise en compte formelle d'une déficience (restriction d'aptitude, reconnaissance de la qualité de travailleur handicapé...), ou aussi plusieurs troubles de santé jugés « gênants » dans le travail.

En analyse multivariée (figure 5 page suivante), au seuil de significativité de 0,05, 7 facteurs principaux apparaissent, relevant d'un parcours professionnel difficile (périodes d'arrêts-maladie ou de chômage, horaires décalés), d'une coopération qui pourrait être meilleure dans le travail et de plusieurs « effets d'âge » : le fait même d'avoir dépassé les 53 ans, et la sensation de difficultés croissantes avec certaines contraintes physiques.

Les liens avec des contraintes « plus difficiles avec l'âge » d'une part, avec des troubles de santé « gênants dans le travail » d'autre part, ont conduit à examiner l'influence du cumul de plusieurs

Les facteurs potentiels de « décrochage professionnel » : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère

Figure 4 : Pourcentage de salariés pensant ne pas continuer leur travail actuel à 3 ans dans les différents sous-groupes (en rouge le pourcentage de répondants)

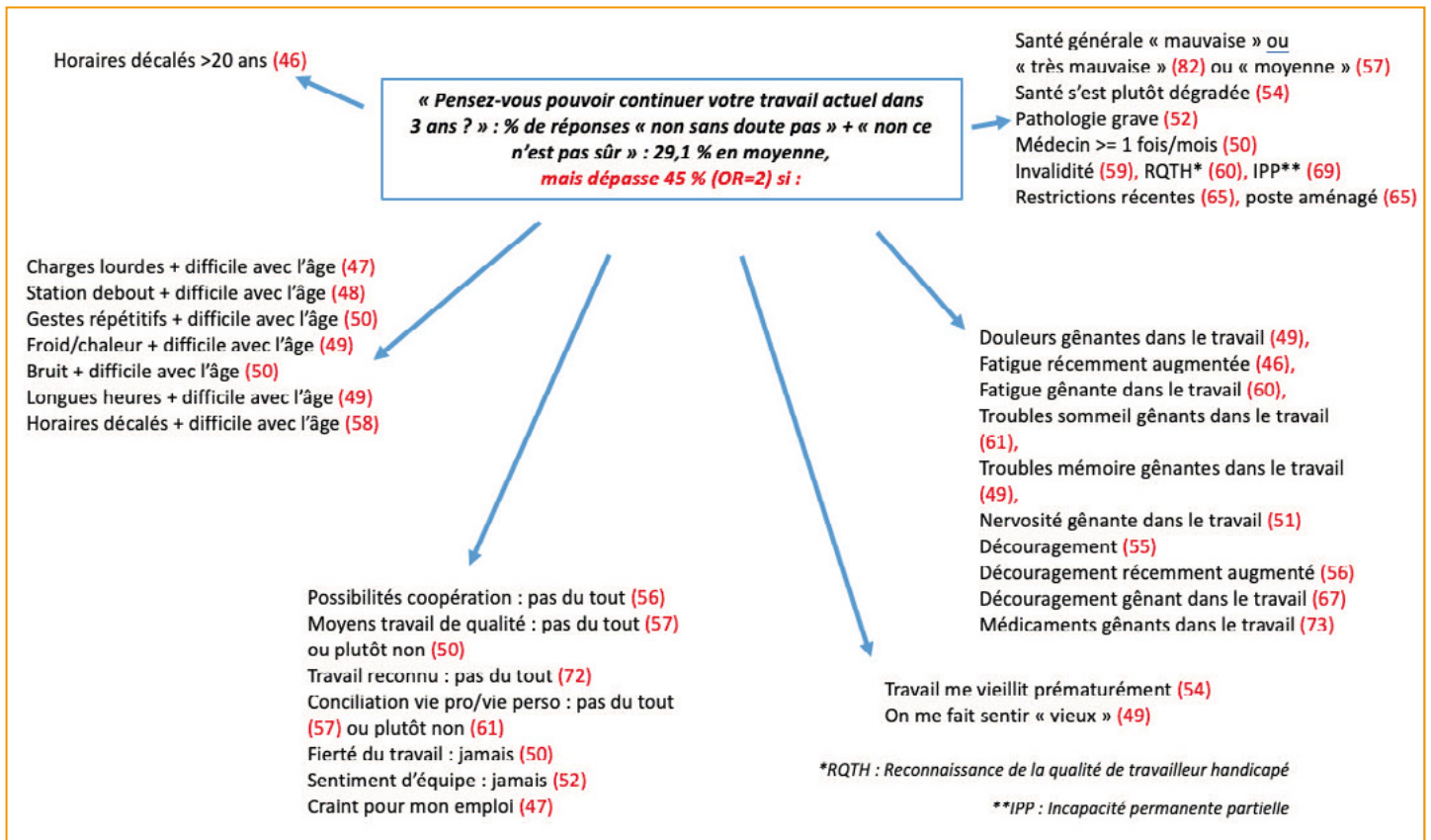


Figure 5 : Régression logistique sur les facteurs aggravants pour la question si l'état de santé permettrait de faire ce travail dans 3 ans selon les répondants

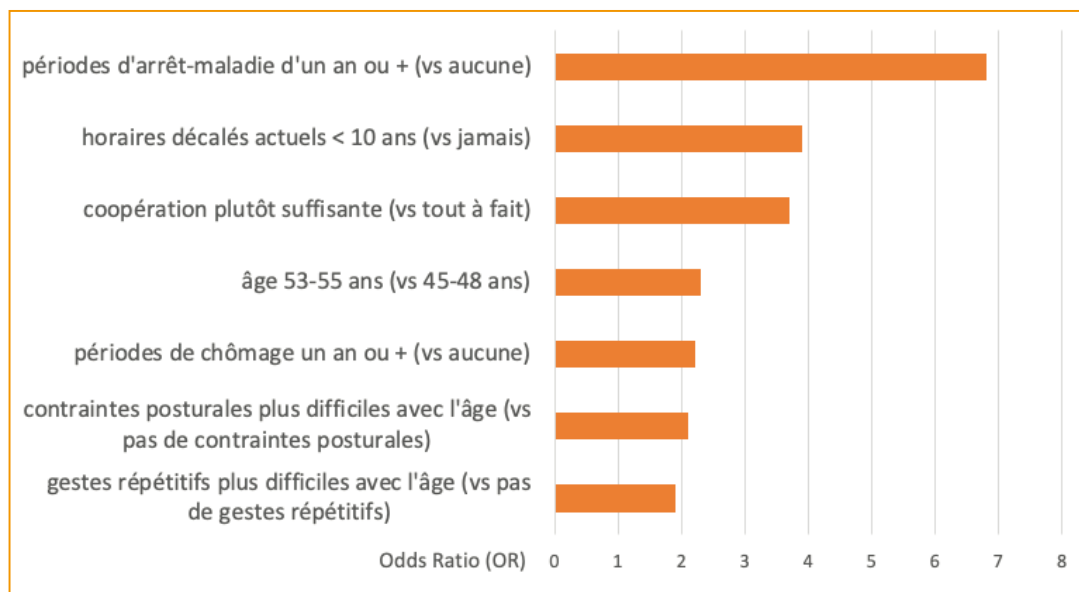
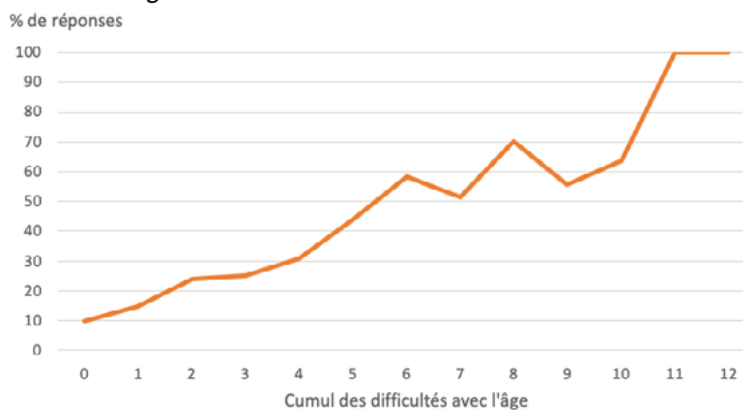


Figure 6 : Pronostic à 3 ans en fonction du nombre de contraintes cochées plus difficiles avec l'âge



d'entre eux sur le pronostic de maintien possible dans ce travail à l'horizon de trois ans (figures 6 et 7). Dans les deux cas, les tendances sont nettes et presque régulières : le pronostic péjoratif pour l'avenir professionnel à 3 ans au même travail a une fréquence qui tend à croître avec le cumul du nombre de conditions de travail jugées plus difficiles avec l'âge (qui *a priori* peut varier de 0 à 13, mais a plafonné à 12 dans l'échantillon), comme avec le cumul des problèmes de santé perçus comme gênants dans le travail (qui peut varier de 0 à 6).

CONCORDANCE DES RÉPONSES POUR LES TROIS FACTEURS DE « DÉCROCHAGE »

La dernière partie de l'analyse a consisté en un croisement entre les trois facteurs potentiels de décrochage, pris deux à deux, afin d'examiner dans quelle mesure ces trois variables sont indépendantes, ou non, les unes des autres.

Le sentiment d'avoir des compétences manquantes semble plus développé chez les salariés qui se sentent le moins bien, et moins développé chez ceux qui se sentent le mieux, mais la relation entre ces deux variables est peu régulière (l'allure descendante du graphique tient beaucoup à la position des deux points extrêmes) (figure 8). Le pronostic à 3 ans et le bien-être au travail sont, eux, clairement reliés (figure 9). En particulier, chez les salariés ayant coté 8 à 10 leur ressenti au poste, la proportion de pronostics favorables dépasse les 80 %. Enfin, la perception de manque de compétences et le pronostic à 3 ans apparaissent comme deux variables sans lien statistique entre elles.

Figure 7 : Pronostic à 3 ans en fonction du nombre de troubles de santé jugés gênants dans le travail

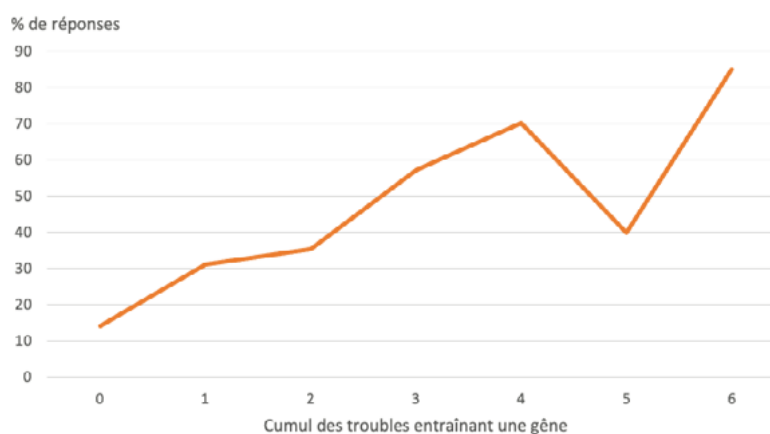
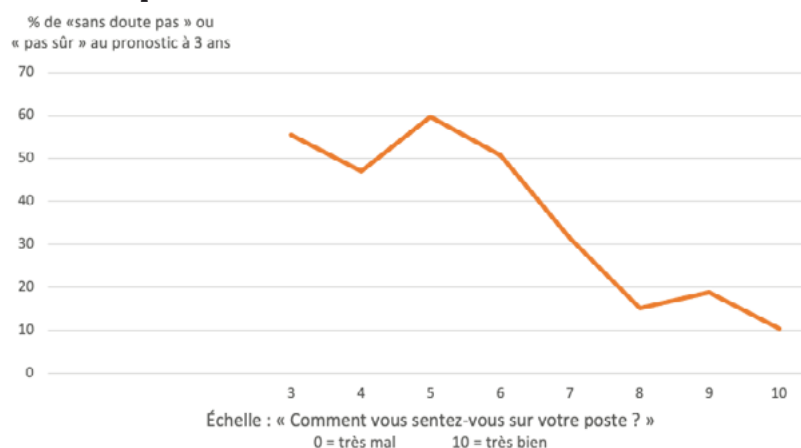


Figure 8 : Graphique croisé entre « compétences qui manquent » selon les répondants et « Comment vous sentez-vous sur votre poste »



Figure 9 : Graphique croisé « pronostic à 3 ans » selon les répondants et « comment vous sentez vous à votre poste »



Les facteurs potentiels de « décrochage professionnel » : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère

DISCUSSION

Ces résultats mettent en exergue l'ampleur relative des trois questions clés retenues dans l'analyse, selon les variables sociodémographiques d'âge et de sexe, et selon les appartenances socioprofessionnelles et sectorielles des répondants.

Les femmes répondent relativement plus fréquemment que les hommes se sentir moins bien à leur poste de travail et avoir des compétences qui leur manquent pour effectuer correctement leur travail. En revanche, le genre n'influe pas les pronostics négatifs à 3 ans : près d'un tiers des hommes et des femmes interrogés émettent un jugement négatif sur les capacités à poursuivre son travail actuel du fait de sa santé.

Le ressenti défavorable au poste de travail et les compétences jugées manquantes ne sont pas corrélés à l'évolution en âge dans la tranche des 45-55 ans. Il n'en est pas de même, en revanche, pour ce qui est de l'évaluation de sa santé à trois ans et de son impact sur la réalisation de son travail : les plus de 53 ans sont 1,5 fois plus nombreux que les salariés entre 45 et 53 ans à douter que leur santé leur permette de continuer à exercer leur travail dans un avenir proche. Différentes hypothèses peuvent être esquissées : les douleurs, troubles physiques et neuropsychiques, plus fréquemment cités parmi les plus âgés, leur apparaîtraient-ils comme autant de signaux d'alerte d'une dégradation significative de leur santé à court terme ? Au bénéfice d'une retraite pour carrière longue, avant l'âge légal, certains des salariés plus âgés anticiperaient-ils sur l'idée de s'arrêter de travailler dans trois ans parce qu'ils n'en

« peuvent plus », seule une enquête plus qualitative, par entretiens, permettrait de s'assurer de la validité de ces hypothèses.

Les réponses négatives à chacune des trois questions ne tiennent pas non plus aux mêmes catégories socioprofessionnelles ni secteurs d'activité. Si c'est principalement chez les ouvriers – et plus particulièrement dans le Bâtiment et les travaux publics – que l'expression d'inquiétude sur l'avenir professionnel en raison de l'état de santé est retrouvée plus fréquemment, ne pas « se sentir bien à » son poste de travail est plus marqué chez les « cols blancs » dans le secteur tertiaire. Les compétences manquantes, quant à elles, sont majoritairement indiquées par les catégories socioprofessionnelles les plus élevées et plus spécifiquement dans les métiers de la santé et de l'action sociale.

De ces résultats d'analyse, on retiendra en outre le nombre et la diversité relativement importants de facteurs significativement associés à des réponses défavorables pour ce qui est du ressenti au poste de travail et du pronostic à 3 ans. En effet, pour ces deux questions, entre 7 et 9 facteurs sont corrélés avec des réponses négatives et leur probabilité est augmentée avec des OR de près de 18 pour certains des facteurs. Cela est moins prononcé pour la question portant sur les compétences manquantes, moins corrélée à d'autres facteurs de risque, et avec des OR faibles.

Parmi les facteurs « aggravants » – ceux associés à une augmentation de la probabilité de réponses négatives aux questions sur le ressenti au poste de travail, sur les compétences manquantes ou encore sur l'avenir professionnel à court terme du fait de sa santé – interviennent fortement des éléments

de parcours et des aspects relatifs à l'identité professionnelle. Apparaissent notamment le fait d'avoir travaillé de longues années en horaires décalés (horaires postés ou alternants, horaires de nuit ou obligeant à des couchers après minuit, des levées avant 5 heures du matin) ou bien encore d'avoir connu une ou plusieurs périodes de chômage d'au moins un an. Le manque de reconnaissance professionnelle, la difficulté de ressentir de la fierté pour son travail et les conflits éthiques liés à la désapprobation envers certaines actions requises dans son travail apparaissent également comme des éléments nocifs touchant à la sphère des valeurs, du sens du travail et de l'identité au travail. L'état de santé ne manque pas, non plus, d'être un facteur d'aggravation. Il intervient, toutefois, essentiellement en lien avec le ressenti au travail et avec le pronostic du devenir professionnel à 3 ans, en particulier au travers des répétitions de longues périodes d'arrêts maladie. La formulation de cette dernière question n'y est bien évidemment pas étrangère, puisque la question de la santé y est associée à celle de la poursuite de l'activité dans les années à venir. Comme le montrent également les croisements entre cette question et le nombre de problèmes de santé qui gênent dans le travail, les conjectures sur son maintien dans l'emploi sont intimement liées à la prévalence des problèmes de santé actuels. Tout comme le cumul de conditions de travail considérées plus pénibles avec l'âge, le nombre croissant de troubles de santé rendant le travail difficile s'avère un bon prédicteur du pronostic que se donnent les salariés concernant leur capacité à poursuivre leur activité.

Enfin, les trois « questions », croisées deux à deux, montrent des interdépendances différentes selon les variables considérées. Le ressenti au travail est assez corrélé au pronostic à 3 ans en fonction de son état de santé : les salariés se sentant moins bien au travail sont, somme toute, également ceux qui émettent des doutes sur leur avenir professionnel dans leur métier actuel. En revanche, les résultats sont moins nets pour ce qui est des compétences manquantes : les réponses négatives à la question des compétences sont peu liées au « mal-être » au travail, et ne le sont pas du tout à la question du devenir professionnel en rapport avec sa santé. Si les répondants estiment que leurs compétences sont insuffisantes pour réaliser au mieux leur travail, en revanche, ce manque n'apparaît pas attaché à un risque estimé de voir leur avenir s'assombrir dès lors que la santé entre en jeu dans les limitations de cette perspective professionnelle.

LIMITES DE L'ANALYSE

Cette analyse se fonde sur un échantillon de près de 600 participants de la tranche d'âge comprise entre 45 et 55 ans, dont les caractéristiques générales sont comparables à celles de la population de cette tranche d'âge suivie par le service de santé au travail. Si cet échantillon est suffisamment conséquent pour proposer des résultats significatifs, il n'en reste pas moins que sa taille ne permet pas de faire des analyses très détaillées, en particulier en menant des analyses fines par sous-population selon le sexe, les sous-catégories d'âge, les catégories socioprofessionnelles ou bien encore selon les secteurs professionnels. Or il aurait été intéressant de pouvoir, par exemple, faire

des croisements de données sur la base notamment des secteurs professionnels afin d'identifier des facteurs de contraintes, d'usure professionnelle et de conditions de travail récurrents dans ces catégories d'activité.

Dans les limites de cette enquête, on peut également arguer de son caractère « géographiquement situé ». En effet, elle a été menée auprès d'une population de salariés localisés sur des régions du Gard et de la Lozère. Ses caractéristiques socio-économiques, *a minima*, sont dépendantes de celles des bassins d'emploi régionaux. Cette population est également suivie par un seul service de santé au travail, et l'enquête a été réalisée, non pas par l'ensemble des médecins et des infirmiers du service, mais par les seuls volontaires pour y participer. Ces biais sont à relever, même s'ils restent faibles et leurs impacts sans doute à relativiser.

Enfin, les résultats présentés s'appuient sur l'exploitation de la première vague de l'enquête par questionnaires menée en 2019. Ils ne concernent qu'une partie de l'étude qui inclura une seconde passation à trois ans d'intervalle auprès des salariés précédemment interrogés et un accompagnement individuel et collectif proposé par les psychologues du CIBC en soutien des parcours professionnels.

CONCLUSION

L'ensemble des données statistiques de la seconde vague et des données plus « qualitatives » collectées lors de cycles d'actions individuelles et collectives menées par le CIBC permettront sans nul doute d'enrichir et d'affiner les résultats de cette première analyse. Ils seront

complétés par des interrogations semestrielles auxquelles a procédé le CMIST auprès des participants, concernant l'évolution de leur situation professionnelle et de leur santé. L'exploitation multi-analyse des données et le suivi longitudinal de cette cohorte donneront ainsi des éléments additionnels sur les facteurs de risque de décrochage professionnel avec l'âge, utiles à leur prévention.

Pour autant, en la matière, les résultats de cette première exploration statistique apportent déjà plusieurs sources d'enseignement. Ils pointent l'intérêt de rechercher des signes de décrochage auprès d'une population encore éloignée de la fin de la vie active. Les comportements de retrait de l'emploi, ou encore les difficultés à retrouver un emploi sont, dans la littérature scientifique, le plus souvent étudiés chez des individus aux « portes » de la retraite. Or les aspects de dégradation de la santé, de fragilité des compétences, de pénibilité des parcours professionnels et des conditions de travail – qui sont avancés chez les plus âgés pour expliquer leur sortie de l'emploi (ou les problèmes pour s'y maintenir) – apparaissent déjà présents à des âges plus précoces. En ciblant des salariés entre 45 et 55 ans, l'enquête met en évidence que les mêmes « signes » interviennent également plus en amont, comme facteurs potentiels de décrochage à des âges futurs. Elle souligne ainsi toute l'importance d'agir en prévention sur ces différentes dimensions, en considérant leur articulation. Les relations de dépendance qu'entretiennent le sentiment de mal-être (ou bien-être), la pénibilité des conditions de travail avec l'âge et le pronostic de sa capacité « à tenir » au travail en raison de sa santé, militent en ce sens pour

Les facteurs potentiels de « décrochage professionnel » : une étude statistique chez les 45-55 ans, en Gard-Lozère

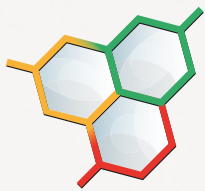
une prise en compte globale de ces facettes. Ces premiers éléments d'analyse offrent des indications précieuses pour guider l'approche prospective en service de santé au travail, également en mettant au jour des différences sensibles pour chacun des signes, selon les catégories de population (tranche d'âge, sexe, catégories socioprofessionnelles) et leur secteur d'activité. Le questionnaire présenté, à partir de formulations relativement simples, permet ainsi d'examiner plusieurs signes indicateurs d'un potentiel décrochage professionnel avec l'âge, sous leurs diverses facettes.

POINTS À RETENIR

- Dans cette enquête, un salarié de 45-55 ans sur 6 a un ressenti défavorable au poste actuel, proportion plus élevée chez les femmes et les « cols blancs ».
- Un salarié sur 3 juge que des compétences lui manquent, davantage chez les femmes et les cadres, et dans le secteur sanitaire et social.
- Plus d'1/4 doute que son état de santé lui permette de rester dans ce travail à distance de trois ans, davantage après 53 ans et chez les ouvriers.
- Les caractéristiques du travail et de la santé liées à ces réponses sont nombreuses, surtout pour le ressenti au travail et le pronostic à trois ans.
- Les contraintes de travail jugées « plus difficiles avec l'âge » et les troubles de santé jugés « gênants dans le travail » jouent un rôle important, spécialement s'ils sont cumulés.
- Les facteurs de risque de décrochage sont présents dès 45 ans.
- Cela appelle à interroger les salariés sur ces facteurs, en pratique courante en santé au travail.
- Les mesures de prévention nécessitent d'être mises en place tôt dans les parcours professionnels.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | **PROUET E, ROUSSELOU J** - Les séniors, l'emploi et la retraite. Rapport. France Stratégie, 2018 (<https://www.strategie.gouv.fr/publications/seniors-lemploi-retraite>).
- 2 | **TARTY-BRIAND I** - Du travail au chômage : la place des enjeux de santé dans l'exclusion de l'emploi chez des chômeurs « âgés ». *Perspect Interdiscip Trav Santé*. 2004 ; 6-1 : 1-21.
- 3 | **TARTY I** - Passé 50 ans et au chômage : trop jeunes pour la retraite, mais trop vieux pour travailler. In: COURS-SALIES P, LE LAY S - Le bas de l'échelle. La construction sociale des situations subalternes. Ramonville Saint-Agne : Éditions ERES ; 2006 : 233-246, 302 p.
- 4 | **LIZÉ L, PROKOVAS, N** - Le risque d'occuper un emploi de mauvaise qualité à la sortie du chômage. Documents de travail du Centre d'économie de la Sorbonne 2012.73. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Archive ouverte HAL, 2012 (<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00755580>).
- 5 | **POSTHUMA RA, CAMPION MA** - Age Stereotypes in the Workplace: Common Stereotypes, Moderators and Future Research Directions. *J Manage*. 2009 ; 35 (1) : 158-88.
- 6 | **DELGOULET C** - La formation professionnelle des actifs vieillissants : une combinaison difficile à construire ? *Gérontol Soc*. 2013 ; 36 (147) : 63-73.
- 7 | **GUYOT S, PICHENÉ-HOUARD A, GILLES M** - Vieillesse, maintien en emploi et dans l'emploi, retour au travail : état des lieux et perspectives de prévention. *Grand angle TC* 170. *Réf Santé Trav*. 2020 ; 162 : 17-39.
- 8 | **VOLKOFF S, GAUDART C** - Conditions de travail et « soutenabilité » : des connaissances à l'action. Rapport de recherche n°91. Centre d'études de l'emploi (CEE), 2015 (<https://www.vie-publique.fr/rapport/35145-conditions-de-travail-et-soutenabilite-des-connaissances-laction>).
- 9 | **VOLKOFF S, DELGOULET C** - L'intensification du travail, et l'intensification des changements dans le travail : quels enjeux pour les travailleurs expérimentés ? *Psychol Trav Organ*. 2019 ; 25 (1) : 28-39.
- 10 | **MOLINIÉ AF, GAUDART C, PUEYO V (Eds)** - La vie professionnelle. Âge, expérience et santé à l'épreuve des conditions de travail. Collection Travail et activité humaine. Toulouse : Octarès Éditions ; 2012 : 395 p.



SEIRICH

Évaluer le risque chimique



“L’outil de référence
pour évaluer
et prévenir les
risques chimiques
dans mon
entreprise”

Anura B.
Chef d’entreprise

Télécharger librement sur
www.seirich.fr



FRANCE
CHIMIE



EN PARTENARIAT AVEC
santé
famille
retraite
services

Contexte de contamination des soignants par le SARS-CoV-2 pendant la première vague de l'épidémie*

AUTEURS :

C. Olivier^{1,2}, J.B. Brunet¹, E. Bouvet², D. Abiteboul¹, I. Lolom^{1,3}, G. Pellissier¹, E. Delarocque-Astagneau⁴, E. Rouveix^{4,5} pour le Groupe d'étude sur le risque d'exposition des soignants aux agents infectieux (GERES)

1. Groupe d'étude sur le risque d'exposition des soignants (GERES), UFR de médecine Bichat, Paris

2. Haute Autorité de santé, Saint-Denis

3. CHU Bichat Claude Bernard, GHU Nord Université de Paris, Assistance publique - Hôpitaux de Paris

4. Centre de recherche en Épidémiologie et Santé des Populations, INSERM U1018, Université Paris-Saclay, UVSQ ; CHU Raymond Poincaré, GHU Paris Saclay, Assistance publique - Hôpitaux de Paris

5. CHU Ambroise Paré, GHU Paris Saclay, Assistance publique - Hôpitaux de Paris

EN RÉSUMÉ

Deux mille trois cent vingt-neuf professionnels de santé, exerçant en établissements de soins, médico-sociaux ou dans le secteur libéral, contaminés par le SARS-CoV-2 pendant la première vague de l'épidémie en France, ont répondu à une enquête par questionnaire en ligne sur les circonstances potentielles de leur contamination. L'analyse fait apparaître des différences importantes dans l'utilisation de masques de protection adaptés au risque d'infection. Ces différences sont à mettre en relation avec la disponibilité de ces équipements et les recommandations ou protocoles utilisés, variables suivant le type d'établissement et le secteur d'activité pendant la période de février à avril 2020 où se sont produites 96 % des contaminations des répondants lors de cette première phase de l'enquête. Celle-ci se poursuit jusque'en avril 2021.

MOTS CLÉS

Masque / Appareil de protection respiratoire / Équipement de protection individuelle (EPI) / Protection individuelle / Personnel soignant / Milieu de soins / Contamination / Risque biologique / Crise sanitaire

* Ce texte est déjà paru sous la référence : Olivier C, Brunet JB, Bouvet E, Abiteboul D et al. - Contexte de contamination des soignants par le SARS-CoV-2 pendant la première vague de l'épidémie en France. Bull Epidemiol Hebd. 2020 ; 35 : 690-95

Références en santé au Travail remercie la rédaction du BEH de l'autoriser à le reproduire.

INTRODUCTION

Dès l'émergence du SARS-CoV-2 en Chine, les personnels de santé sont rapidement apparus comme à risque de contracter la Covid-19 avec, dans la ville de Wuhan, une incidence trois fois supérieure à celle de la population générale [1]. Ce sur-risque, confirmé dans plusieurs pays, varie en fonction de la dynamique locale de l'épidémie, des mesures de protection mises en œuvre, et du niveau d'information des professionnels [2, 4]. En France, 44 281 cas de professionnels de santé infectés par le SARS-CoV-2 ont été rapportés entre le 1^{er} mars et le 2 novembre 2020 à Santé publique France par des établissements de santé [5] auxquels s'ajoutent 48 496 cas signalés du 1^{er} mars au 8 novembre 2020 par des établissements sociaux et médico-sociaux (ESMS) parmi les professionnels, dont 78 % exercent dans des Établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD) [6]. Afin de décrire les situations d'exposition des professionnels de

santé infectés, le Groupe d'étude sur le risque d'exposition des soignants aux agents infectieux (GERES) a initié une étude nationale complémentaire de la surveillance nationale des cas dans les établissements de santé, soutenue par Santé publique France, l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS) et la Haute Autorité de santé (HAS). Nous rapportons ici les principaux résultats obtenus concernant la première vague de l'épidémie en France.

MÉTHODE

Après une phase de tests et la diffusion d'informations dans le réseau de professionnels du GERES, des ordres professionnels et des institutions partenaires, l'enquête a démarré le 17 avril 2020 avec la mise en ligne du questionnaire sur le site du GERES. Les participants dont la date de début des symptômes était antérieure à la mise en ligne pouvaient néanmoins renseigner

Contexte de contamination des soignants par le SARS-CoV-2 pendant la première vague de l'épidémie

le questionnaire. Pour l'analyse présentée dans cet article, une extraction de la base a été effectuée au 15 août. Cette date a été choisie afin de prendre en compte le délai de 42 jours en médiane, observé sur ces réponses, entre la date de début des symptômes et la date de remplissage du questionnaire.

Cette enquête descriptive s'adressait à tous les personnels de santé infectés, quelle que soit leur fonction au contact des patients : infirmier, aide-soignant, médecin, kinésithérapeute, technicien de laboratoire, pharmacien, manipulateur radio, brancardier, ambulancier, psychologue, diététicien, dentiste... : chaque professionnel pouvait répondre au questionnaire quel que soit son lieu (établissement de santé, médico-sociaux, cabinet, officine, laboratoires d'analyses de biologie médicale...) et son mode d'exercice (public/privé, libéral/salarié...).

Le questionnaire était rempli par les professionnels atteints eux-mêmes avec, si besoin, l'aide des médecins qui les prenaient en charge (médecin du travail, infectiologue, équipe opérationnelle d'hygiène...). Les répondeurs devaient avoir eu un diagnostic de Covid-19, posé à partir d'examens biologiques (résultat positif d'une PCR ou d'une sérologie) et/ou basé sur des critères clinico-radiologiques évocateurs.

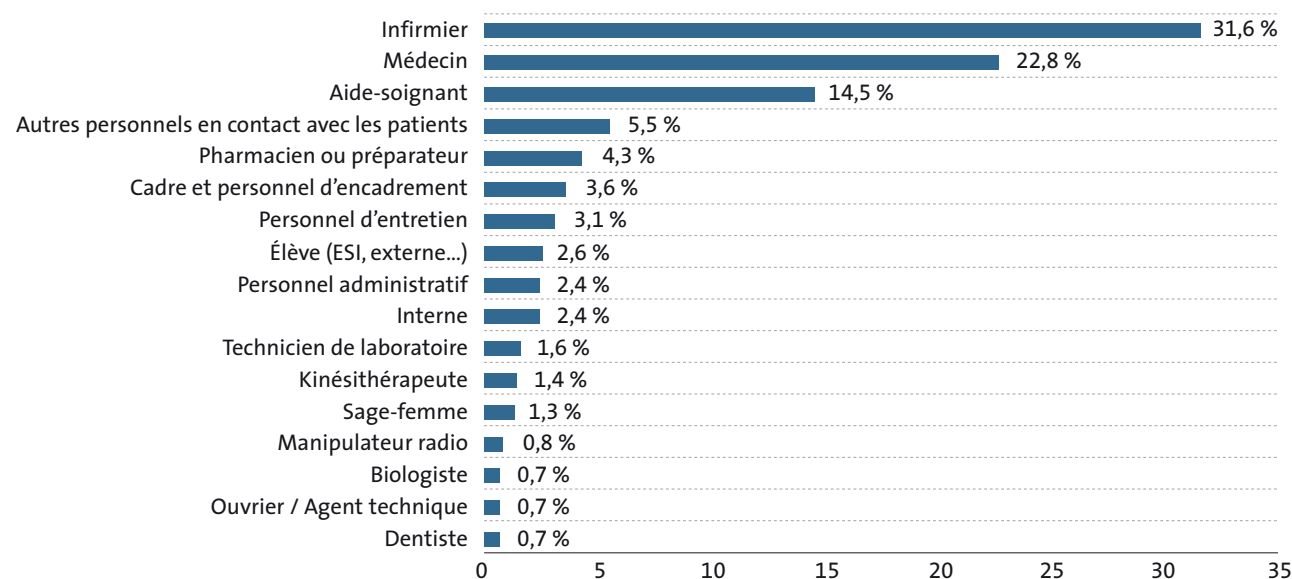
Les données collectées, anonymisées, portaient notamment sur les caractéristiques socio-démographiques (âge, sexe, profession), sur le type d'établissement et d'activités, les tâches réalisées, les équipements et moyens de prévention à disposition (masque, soluté hydro-alcoolique, surblouse, lunettes de protection) et l'existence d'éventuels contacts professionnels ou extra-professionnels avec des cas de Covid-19 diagnostiqués ou

suspectés dans les deux semaines précédant la date de début des symptômes. L'analyse de l'utilisation des surblouses et des lunettes de protection n'est pas présentée dans cet article.

Pour l'analyse, la liste des activités considérées comme étant « les plus à risque » de transmission du SARS-CoV-2 a été définie à partir des recommandations du Haut Conseil de la santé publique (HCSP) et de la Société française d'hygiène hospitalière (SF2H) élaborées en mars et avril 2020 sur les situations, les actes ou les manœuvres nécessitant le port d'un appareil de protection respiratoire (APR) de type FFP2 [7, 8]. Par ailleurs, les réponses provenant de professionnels exerçant en ESMS ou en ville ont été regroupées pour cette analyse, compte tenu des effectifs plus faibles et de la fréquence des exercices mixtes.

↓ **Figure 1**

➤ **CATÉGORIES DES PROFESSIONNELS PARTICIPANT À L'ENQUÊTE, INFECTÉS PAR LE SARS-CoV-2 DURANT LA PREMIÈRE VAGUE DE L'ÉPIDÉMIE EN FRANCE**



Autres personnels en contact avec les patients : éducateurs, animateurs spécialisés, psychologues, assistantes sociales, brancardiers...
ESI : étudiant en soins infirmiers.

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUES DES PROFESSIONNELS INFECTÉS

Au 15 août 2020, 2 329 questionnaires ont été complétés. La répartition par sexe et âge des répondants montre un sexe-ratio à 0,25 et un âge médian de 43 ans. Les infirmiers (720), les médecins (523) et les aides-soignants (328) représentaient 68 % des participants (figure 1). La majorité d'entre eux (1 602 soit 69 %) exerçaient exclusivement en établissement de santé, dont 268 en établissement privé et 430 (18 %) en secteur de ville ; les autres participants exerçaient dans

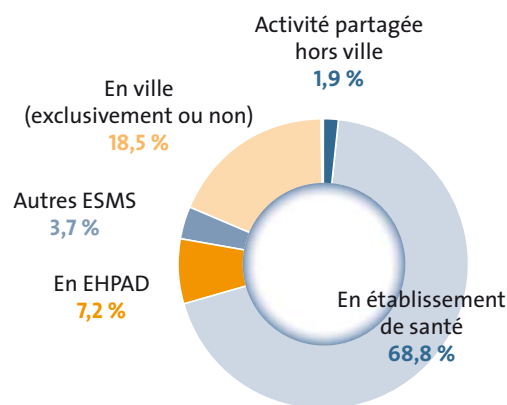
le secteur médico-social (EHPAD et autres ESMS) (figure 2).

Les trois régions les plus représentées étaient : l'Île-de-France avec 30,3 % des cas (n=680), le Grand Est avec 15,4 % des cas (n=345) et la Bourgogne-Franche-Comté avec 12,6 % des cas (n=284). Les dates de début des symptômes se sont étalées du 10 janvier 2020 au 29 juillet 2020. Leur pic de survenue se situe durant la semaine du 16 au 23 mars (semaine 12), que ce soit en établissement de santé (ville, EHPAD, autres ESMS) ; 96,1 % des cas chez les répondants des ES et 96,8 % des cas chez ceux hors ES sont apparus avant le 26 avril 2020 (figure 3).

Parmi l'ensemble des répondants,

↓ Figure 2

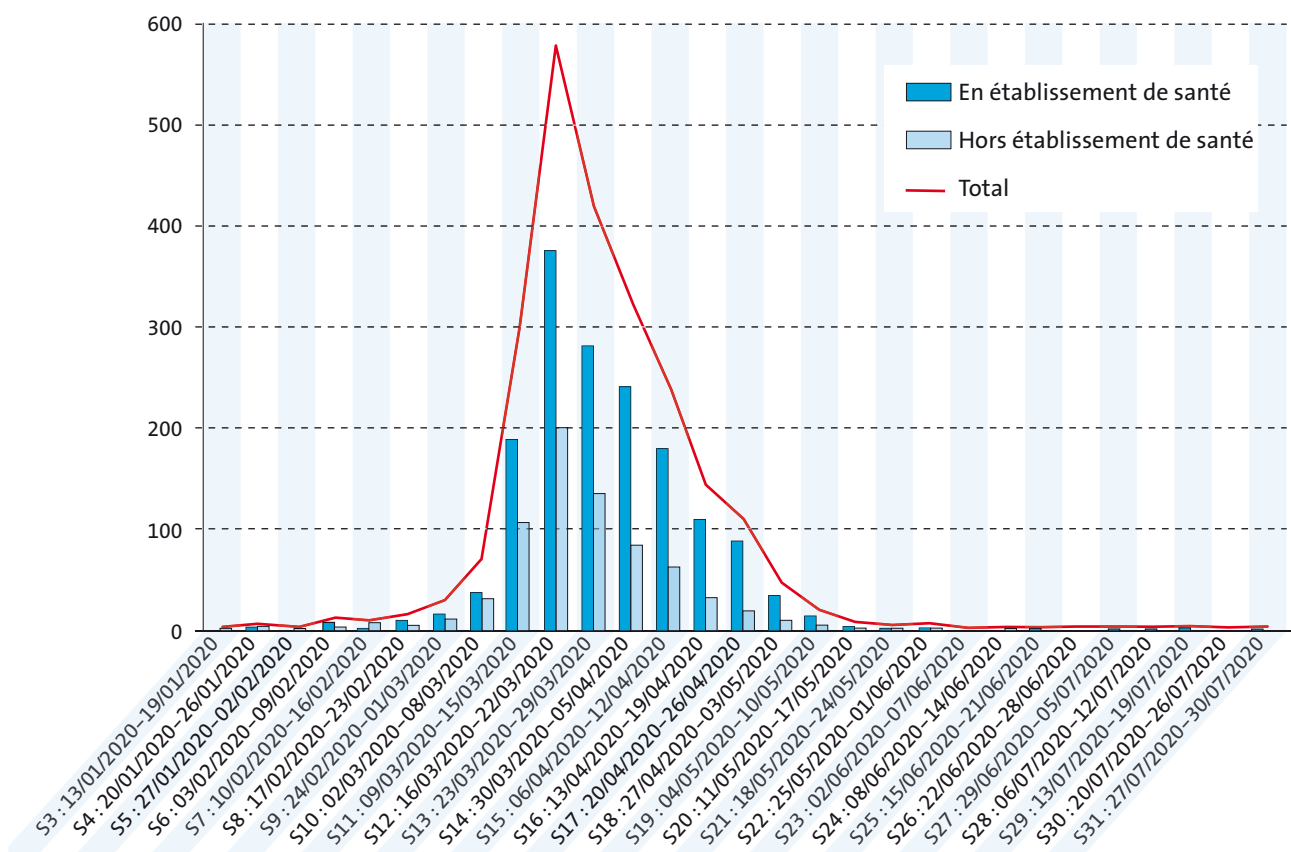
> SECTEUR D'ACTIVITÉ DES PROFESSIONNELS PARTICIPANT À L'ENQUÊTE, INFECTÉS PAR LE SARS-CoV-2 DURANT LA PREMIÈRE VAGUE DE L'ÉPIDÉMIE EN FRANCE



ESMS : établissements sociaux et médico-sociaux.
EHPAD : hébergement pour personnes âgées dépendantes.

↓ Figure 3

> DISTRIBUTION HEBDOMADAIRE DES DATES DE DÉBUT DES SYMPTÔMES CHEZ LES PARTICIPANTS À L'ENQUÊTE (DONNÉES AU 15 AOÛT 2020), FRANCE



Contexte de contamination des soignants par le SARS-CoV-2 pendant la première vague de l'épidémie

102 (4,4 %, âge médian 49 ans) avaient dû être hospitalisés à la suite de leur infection, dont 9 (âge médian 62 ans) avec passage en réanimation.

EN ÉTABLISSEMENT DE SANTÉ

Parmi les 1 602 professionnels exerçant en établissement de santé, 1 557 ont déclaré avoir travaillé durant les 15 jours précédant les symptômes. Parmi ces derniers, 1 298 (83 %) avaient travaillé uniquement à leur poste habituel pendant les 15 jours précédant les symptômes, tandis que 252 (16 %) avaient travaillé dans le cadre de la réserve sanitaire, en renfort ou étaient intérimaires. On dénombre 486 professionnels (31 %) ayant travaillé exclusivement en secteur

Covid dont 79 en réanimation (5 %). Le groupe « hors secteur Covid » compte 1 071 professionnels (69 %), dont 77 ont eu une partie de leur activité en secteur Covid.

Leur taux d'utilisation d'un APR FFP2 pour la réalisation des tâches les plus à risque, rapporté dans le **tableau I**, variait fortement en fonction du secteur d'exercice. Les chiffres rapportés dénombrent les personnels ayant réalisé au moins une fois la tâche durant les 15 jours précédant les symptômes. En secteur Covid, le port de masques FFP2 variait de 56 % à 87,2 % suivant les actes pratiqués. Hors secteur Covid, le port de masques FFP2 variait de 0 à 51,4 % pour les mêmes actes, les masques chirurgicaux étant majoritairement utilisés. Lors d'un prélèvement nasopharyngé, 83,4 %

des professionnels en secteur Covid portaient exclusivement un masque FFP2 tandis que, hors secteur Covid, 51,4 % en portaient.

Les raisons invoquées pour l'absence de port de masque ou le port d'un masque chirurgical au lieu d'un masque type FFP2 étaient avant tout liées soit à la pénurie de ce type de matériel conduisant à l'utilisation de masque chirurgical, soit aux protocoles appliqués localement conduisant à réserver les masques FFP2 à la prise en charge des patients ayant eu une PCR Covid-19 positive et à certaines situations. Les protocoles suivis au niveau local pouvaient en effet varier suivant la date et l'origine des recommandations utilisées à cette période par les établissements.

↓ **Tableau I**

➤ **UTILISATION D'UN MASQUE (CHIRURGICAL ET FFP2) EN FONCTION DES GESTES RÉALISÉS PAR LES SOIGNANTS PRÉCÉDANT LE DÉBUT DES SYMPTÔMES, 2020, France**

| ACTIVITÉ « À RISQUE » | EN ÉTABLISSEMENT DE SANTÉ | | | | | | | |
|--|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| | n | En secteur Covid | | | Hors secteur Covid | | | |
| | | Pas de port de masque | Port de masque chirurgical n (%) | Port de masque FFP2 n (%) | n | Pas de port de masque | Port de masque chirurgical n (%) | Port de masque FFP2 n (%) |
| Prélèvement nasopharyngé | 145 | 1 (0,7 %) | 19 (13,1 %) | 121 (83,4 %) | 72 | 6 (8,3 %) | 26 (36,1 %) | 37 (51,4 %) |
| Pose de sonde nasogastrique | 60 | 4 (6,7 %) | 19 (31,7 %) | 30 (50,0 %) | 40 | 5 (12,5 %) | 32 (80,0 %) | 3 (7,5 %) |
| Examen de la cavité buccale et ORL | 95 | 3 (3,2 %) | 33 (34,7 %) | 53 (55,8 %) | 98 | 37 (37,8 %) | 53 (54,1 %) | 7 (7,1 %) |
| Examen ophtalmologique | 16 | 0 (0,0 %) | 3 (18,8 %) | 12 (75,0 %) | 18 | 11 (61,1 %) | 7 (38,9 %) | 0 (0,0 %) |
| Manœuvres sur les voies respiratoires | | | | | | | | |
| Pose de masque à oxygène | 83 | 1 (1,2 %) | 25 (30,1 %) | 46 (55,4 %) | 75 | 16 (21,3 %) | 53 (70,7 %) | 6 (8,0 %) |
| Pose de sonde nasale | 18 | 0 (0,0 %) | 3 (16,7 %) | 13 (72,2 %) | 11 | 3 (27,3 %) | 8 (72,7 %) | 0 (0,0 %) |
| Nébulisation | 51 | 1 (2,0 %) | 8 (15,7 %) | 38 (74,5 %) | 49 | 13 (26,5 %) | 32 (65,3 %) | 3 (6,1 %) |
| Aspiration | 66 | 0 (0,0 %) | 12 (18,2 %) | 48 (72,7 %) | 61 | 9 (14,8 %) | 42 (68,9 %) | 8 (13,1 %) |
| Intubation | 47 | 0 (0,0 %) | 5 (10,6 %) | 41 (87,2 %) | 38 | 2 (5,3 %) | 24 (63,2 %) | 12 (31,6 %) |
| Extubation | 12 | 0 (0,0 %) | 1 (8,3 %) | 10 (83,3 %) | 26 | 1 (3,8 %) | 18 (69,2 %) | 5 (19,2 %) |
| Manipulation des dispositifs de ventilation* | 55 | 2 (3,6 %) | 5 (9,1 %) | 44 (80,0 %) | 40 | 8 (20,0 %) | 27 (67,5 %) | 2 (5,0 %) |
| Examen endoscopique | < 10 | | | | <10 | | | |
| Kinésithérapie respiratoire | < 10 | | | | 12 | 1 (8,3 %) | 6 (50,0 %) | 5 (41,7 %) |
| Soins dentaires | 43 | 1 (2,3 %) | 21 (48,80 %) | 17 (39,5 %) | 32 | 10 (31,3 %) | 22 (68,8 %) | 0 (0,0 %) |

* Ventilation par respirateur artificiel, CPAP, OPTIFLOW...

n = nombre de personnes ayant réalisé au moins une fois la tâche durant les 15 jours précédant l'apparition des symptômes.

S'agissant des solutions hydro-alcooliques : 88,4 % des personnels en ES ont déclaré en disposer autant que de besoin, l'activité en secteur Covid ou non n'impactant pas ce taux.

D'autres situations d'exposition, en dehors du soin direct aux patients, ont été rapportées par ces 1 557 professionnels infectés : 506 (32,5 %) déclaraient au moins un contact sans masque avec un ou/des soignants ayant une infection confirmée à Covid-19, pendant ses symptômes ; par ailleurs 1 285 (82,5 %) prenaient leurs repas avec les collègues en salle de repos et donc sans masque ; 182 (11,7 %) rapportaient des contacts avec des cas suspectés ou confirmés d'infection à Covid-19 en dehors de leur activité professionnelle.

ÉTABLISSEMENTS MÉDICO-SOCIAUX ET VILLE

Sur 727 professionnels exerçant hors ES (EHPAD, autre établissement médico-social ou en ville), 30 n'ont pas travaillé durant les 15 jours précédant les symptômes. L'analyse des tâches porte sur 697 soignants contaminés.

Lors des activités à risque, le port d'APR FFP2 était globalement moins fréquent que le port de masque chirurgical. Par exemple, le prélèvement nasopharyngé n'était réalisé avec un APR FFP2 que dans 33,9 % des cas et dans 19,4 % des cas aucun masque n'était porté.

On note qu'entre 7,1 % (pose d'un masque à oxygène) et 47,6 % (examen ophtalmologique) des participants déclaraient ne pas avoir

porté de masque lors d'une activité à haut risque (tableau I).

Lors d'un entretien en face à face avec un patient, à moins d'1 mètre, durant la période au cours de laquelle le professionnel a été contaminé, les raisons évoquées pour le non port ou le port occasionnel de masque, étaient notamment :

- l'indisponibilité du matériel (37,5 %) ;
- l'absence de recommandations de port de masque (34,1 %) ;
- l'utilisation de matériel de protection uniquement pour les cas suspectés ou confirmés d'être atteints de la Covid-19 (20,8 %).

S'agissant des solutions hydro-alcooliques : 82,5 % des personnels hors ES ont déclaré en disposer autant que de besoin.

CONTAMINÉS PAR LE SARS-CoV-2 DURANT LES 15 JOURS

| HORS ÉTABLISSEMENT DE SANTÉ | | | |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| n | Pas de port de masque | Port de masque chirurgical n (%) | Port de masque FFP2 n (%) |
| 62 | 12 (19,4 %) | 29 (46,8 %) | 21 (33,9 %) |
| < 10 | | | |
| 175 | 65 (37,1 %) | 77 (44,0 %) | 30 (17,1 %) |
| 42 | 20 (47,6 %) | 15 (35,7 %) | 7 (16,7 %) |
| 14 | 1 (7,1 %) | 7 (50,0 %) | 6 (42,9 %) |
| < 10 | | | |
| < 10 | | | |
| 17 | 4 (23,5 %) | 6 (35,3 %) | 7 (41,2 %) |
| < 10 | | | |
| < 10 | | | |
| < 10 | | | |
| < 10 | | | |
| < 10 | | | |
| 30 | 5 (16,7 %) | 23 (76,7 %) | 1 (3,3 %) |

DISCUSSION ET CONCLUSION

Durant cette période de notre enquête, parmi les 2 329 professionnels participants, plus de 96 % ont eu leurs premiers symptômes entre le 13 mars et le 26 avril 2020, avec un pic survenu pendant la semaine du 16 au 20 mars. La cinétique de la contamination des participants est donc très proche des courbes modélisées pour la situation française lors de la première vague de l'épidémie en France [9]. La répartition géographique des participants se rapprochait des résultats du recensement national des cas de contaminations du personnel soignant en ES réalisé par Santé publique France [5]. Près de 60 % des cas sont survenus en Île-de-France et dans les régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté, répartition correspondant aux régions les plus touchées pendant cette première vague en France

Contexte de contamination des soignants par le SARS-CoV-2 pendant la première vague de l'épidémie

métropolitaine [7]. En revanche, le faible nombre de répondants aides-soignants ou agents hospitaliers, de même que la faible proportion de réponses provenant de professionnels exerçant dans les ESMS témoignent de biais de participation importants. Pour le secteur libéral, la surveillance nationale ne fournit pas d'éléments de comparaison.

Les répondants à ce questionnaire ne constituent donc pas un échantillon représentatif des soignants contaminés par le SARS-CoV-2. Par ailleurs, l'enquête étudie les circonstances potentielles de contaminations des professionnels ayant répondu à l'enquête, sans préjuger de leur causalité immédiate que les participants eux-mêmes n'étaient, le plus souvent, pas en mesure d'identifier avec précision.

L'enquête met cependant en évidence les problèmes liés à l'insuffisance du port de masques de protection adaptés aux risques de contaminations professionnelles pendant la première vague de l'épidémie. Elle montre que le port d'un masque FFP2 était inconstant pour la plupart des activités définies

comme les plus à risque avec une personne sur cinq n'en portant pas en unité Covid, moins d'une sur deux dans les autres unités des établissements de santé et encore moindre en ville ou en ESMS. Ainsi, pour le prélèvement nasopharyngé, qui a été rapidement identifié comme devant être réalisé avec un FFP2, quel que soit le statut du malade et le lieu d'exercice, un masque FFP2 était porté par environ 80 % des professionnels en unités Covid, 50 % en dehors de ces unités et seulement 30 % en ESMS ou en ville pendant la période (mars-avril 2020) où sont survenues la quasi-totalité des contaminations des répondants à l'enquête. Les raisons les plus souvent citées étaient le manque de matériel disponible et l'absence de recommandations relatives au port de masque hors prise en charge d'un patient suspect ou atteint de la Covid-19 au début de l'épidémie. Le contexte de contamination des soignants semble avoir été à cette période essentiellement professionnel : soit transmission patient-soignant, soit entre soignants avant que ne soit préconisé le port en continu

du masque chirurgical par les soignants notamment en salle de réunion ou de repos. Les contacts extra-professionnels (communautaires) ne peuvent être exclus, mais semblent avoir été, à cette époque, pour les répondants, un facteur de risque plus secondaire, sauf pour 75 professionnels (3,2 %) n'ayant pas travaillé durant les 15 jours précédant leurs symptômes.

La seconde vague de l'épidémie se déroule actuellement dans un contexte profondément modifié, par les opérations de dépistage systématique dans les ES et ESMS qui modifient le nombre de professionnels infectés identifiés, la disponibilité généralisée des masques de protection, et les améliorations de recommandations destinées aux professionnels de soins en ce qui concerne les mesures barrières applicables dans les différents contextes d'exercices professionnels [10]. La poursuite de l'enquête devrait permettre d'appréhender le contexte actuel des contaminations qui continuent de survenir, en particulier le rôle respectif des contaminations professionnelles et communautaires.

Remerciements

Les auteurs remercient tous les professionnels de santé qui ont participé à cette enquête.

Liens d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt au regard du contenu de cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | PAN A, LIU L, WANG C, GUO H, HAO X, WANG Q, ET AL. - Association of public health interventions with the epidemiology of the COVID-19 outbreak in Wuhan, China. *JAMA*. 2020 ; 323(19) :1915-23.
- 2 | NGUYEN LH, DREW DA, GRAHAM MS, JOSHI AD, GUO CG, MA W, ET AL. - Risk of COVID-19 among front-line health-care workers and the general community: A prospective cohort study. *Lancet Public Health*. 2020 ; 5(9) : e475-e483.
- 3 | MUTAMBUDZI M, NIEDZWIEDZ CL, MACDONALD EB, LEYLAND AH, MAIR FS ANDERSON JJ, ET AL. Occupation and risk of severe COVID-19: Prospective cohort study of 120,075 UK Biobank participants. *Occup Environ Med*. 2020 (<https://oem.bmj.com/content/early/2020/12/01/oemed-2020-106731>).
- 4 | DE SERRES G, CARAZO S, LORCY A, VILLENEUVE J, LALIBERTÉ D, MARTIN R, ET AL. Enquête épidémiologique sur les travailleurs de la santé atteints par la COVID-19 au printemps 2020. Institut national de santé publique du Québec ; 2020. 76 p. (<https://www.inspq.qc.ca/publications/3061-enquete-epidemiologique-travailleurs-sante-covid19>).
- 5 | Santé Publique France. Recensement national des cas de COVID-19 chez les professionnels en établissements de santé. Mise à jour 10 novembre 2020 (<https://www.santepubliquefrance.fr/etudes-et-enquetes/recensement-national-des-cas-de-covid-19-chez-les-professionnels-en-etablissements-de-sante>).
- 6 | Santé Publique France. COVID-19. Point épidémiologique du 12 novembre (www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-et-infections-respiratoires/infection-a-coronavirus/documents/bulletin-national/covid-19-point-epidemiologique-du-12-novembre-2020).
- 7 | Haut Conseil de Santé publique. Avis du 10 mars 2020 relatif à la rationalisation de l'utilisation des masques chirurgicaux anti-projections et des masques filtrant de type FFP2 pour les professionnels de santé en établissements de santé, en établissements médico-sociaux et en ville en période épidémique de stade 3. Paris: HCSP ; 2020 (<https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/AvisRapportsDomaine?clefr=830>).
- 8 | LEPELLETIER D, GRANDBASTIEN B, ROMANO-BERTRAND S, AHO S, CHIDIAC C, GÉHANNO JF, ET AL. - French Society for Hospital Hygiene and the High Council for Public Health. What face mask for what use in the context of COVID-19 pandemic? The French guidelines. *J Hosp Infect*. 2020 ; 105(3) :414-18.
- 9 | SALJE H, TRAN KIEM C, LEFRANÇO N, COURTEJOIE N, BOSETTI P, PAIREAU J, ET AL. Estimating the burden of SARS-CoV-2 in France. *Science*. 2020 Jul 10 ; 369(6500) :208-211. *Erratum in: Science*. 2020 ; 368(6498) : eabd4246.
- 10 | GAGNEUX-BRUNON A, PELISSIER C, GAGNAIRE J, PILLET S, POZZETTO B, BOTELHO-NEVERS E ET AL. SARS-CoV-2 infection: Advocacy for training and social distancing in healthcare settings. *J Hosp Infect*. 2020 ; 106(3) : 610-12.

PRÉVENIR LES RISQUES PSYCHOSOCIAUX NE S'IMPROVISE PAS



Consultez la démarche de prévention RPS sur
www.inrs.fr/risques/psychosociaux

Quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?

Auteurs : M. Malenfer, M. Héry, mission Veille et prospective de l'INRS

EN RÉSUMÉ

L'INRS a piloté en 2019 et 2020 des travaux de prospective sur le thème de la formation à la santé et sécurité au travail en 2030. Pour la première fois, les scénarios et les enjeux identifiés par un groupe pluridisciplinaire associant plusieurs partenaires ont été complétés par une phase « stratégique » dans laquelle les questions soulevées ont été discutées et enrichies par des acteurs de la gouvernance. S'agissant de prospective, l'objectif est bien d'alimenter leurs réflexions et non pas de produire des recommandations.

MOTS CLÉS

Santé au travail /
Formation
continue /
Organisation du
travail

L'INRS conduit régulièrement des exercices de prospective donnant à voir des futurs possibles du travail pour en déduire des enjeux de santé et sécurité et pouvoir s'y préparer. Le défi que pose l'évolution des compétences des travailleurs face aux transformations à venir y est souvent évoqué. Les développements technologiques en cours et les transformations des modes de production qu'ils accompagnent rendent certains métiers obsolètes, en font émerger de nouveaux, les modifient pratiquement tous. Le rythme de ces transformations ne cesse de s'accélérer et pose la question de l'actualisation des compétences des travailleurs, faisant des questions de formation un enjeu fondamental des années à venir, aussi bien sur le plan économique que social.

Qu'en est-il de la formation à la santé et sécurité au travail (SST) ? Comment doit-elle évoluer pour faire face aux défis de prévention que vont poser ces mutations du travail ? De quelles innovations peut-elle bénéficier elle-même ? L'INRS s'est posé ces questions à travers la conduite d'un exercice de prospective consacré au futur

de la formation à la SST à un horizon de dix ans. Comme il en a l'habitude, l'institut n'a pas conduit cet exercice seul, mais a sollicité plusieurs experts d'organismes concernés par cette question pour les associer à cette démarche. Ce groupe de travail pluridisciplinaire a mené un travail de prospective « classique », étudiant différentes variables, imaginant des scénarios, identifiant des enjeux clés.

En tant qu'opérateur important de la formation à la SST en France, l'INRS a souhaité compléter cette réflexion par un volet plus stratégique. Les matériaux de la première phase ont donc été mis à la disposition des partenaires sociaux qui siègent à son conseil d'administration afin qu'ils puissent s'en emparer pour identifier les principaux chantiers auxquels ils devront s'atteler dans les prochaines années pour adapter le dispositif de formation, géré par l'Assurance maladie - Risques professionnels et l'INRS, aux futurs contextes de travail et de prévention. Il ressort de ces échanges une série de questions stratégiques susceptibles d'alimenter leurs réflexions sur le sujet.

Quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?

↓ Encadré 1

> MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL PLURIDISCIPLINAIRE

- Michel Héry, Michel Bridot, Pierre Canetto, Marc Malenfer, Cécile Richard (INRS) ;
- Georges Lischetti (Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail – CARSAT- Alsace-Moselle) ;
- François de Jouvenel (Futuribles) ;
- Amandine Brugière, Stéphane Poncet (Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail – ANACT) ;
- Frédéric Sechaud (Centre d'études et de recherches sur les qualifications – CEREQ) ;
- Paul Santelmann (Agence nationale pour la formation professionnelle des adultes – AFPA) ;
- Nicolas Breton (Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics – CCCA-BTP) ;
- Claude Spano (*Kedge Business School*) ;
- Patricia Dussart et Reda Farah (Éducation nationale).

CONTEXTE ET ENJEUX DE LA FORMATION À LA SST EN 2030

Les éléments présentés dans cette première partie sont issus de la production d'un groupe de travail pluridisciplinaire que l'INRS a constitué spécifiquement pour traiter de cette question ([encadré 1](#)).

MÉTHODOLOGIE PROSPECTIVE

Dans un premier temps, le groupe de travail s'est attaché à dresser le paysage prospectif dans lequel allait se déployer la formation à la SST dans les 10 ans à venir. Cette étape consiste essentiellement à identifier les différentes variables

qui contribueront le plus à l'évolution de ce sujet.

Treize variables ont ainsi été retenues par le groupe de travail ([tableau I](#)) comme étant particulièrement déterminantes. Elles ont été regroupées en trois thèmes : le contexte des transformations du travail et des trajectoires professionnelles, les modalités de gestion de la SST et la formation elle-même.

Chacune de ces variables a fait l'objet d'un travail spécifique visant à formuler des hypothèses d'évolution à l'horizon de dix ans retenu ici.

SCÉNARIOS THÉMATIQUES

Pour chacun des trois thèmes, le groupe de travail a construit une série de scénarios en combinant

↓ Tableau I

> VARIABLES RETENUES RÉPARTIES EN TROIS THÈMES

| Thème 1 : modes de production, travail | |
|--|--|
| 1 | Diversification des formes d'emploi - Pratiques de sous-traitance, externalisation des entreprises, plateformes |
| 2 | Organisations du travail, management, lieux de travail |
| 3 | Âges, parcours, trajectoires professionnelles |
| 4 | Rapport au travail (y compris vie personnelle/vie professionnelle) |
| Thème 2 : gestion de la santé, sécurité au travail | |
| 5 | Développement d'outils intégrant la gestion des risques dans leur conception |
| 6 | Responsabilités vis-à-vis de l'exposition aux risques |
| 7 | Anticipation des risques et articulation avec gestion de la santé et sécurité au travail (SST) (dont formation) |
| 8 | Relations santé publique/santé au travail |
| Thème 3 : formation | |
| 9 | Principes/doctrines d'approches de la formation SST (logiques métiers/qualifications/compétences) |
| 10 | Évolution des publics de la formation SST |
| 11 | Acteurs, compétences et marché de la formation SST |
| 12 | Organisation et modalités d'accès à la formation pro (compte personnel de formation -CPF-, internalisation formation dans les entreprises) |
| 13 | Modalités de formation et potentialités pédagogiques, y compris usage des données et personnalisation, <i>neurolearning</i> , pédagogies actives |

les hypothèses de chacune des variables de manière cohérente. Ces scénarios, volontairement contrastés, ouvrent un champ des possibles extrêmement large. L'idée n'est pas d'essayer de prédire l'avenir mais d'imaginer des futurs possibles, étayés, permettant débats et réflexions.

THÈME 1 : MODES DE PRODUCTION ET TRAVAIL

Scénario 1.1 : Individualisation et polarisation

Dans un contexte d'augmentation des phénomènes d'externalisation (sous-traitance) et d'automatisation, les collectifs de travail sont mis à mal. Le marché du travail se polarise entre des travailleurs qualifiés recherchés pour leurs compétences, notamment en matière de technologies de l'information et de la communication (TIC), et des travailleurs peu ou pas qualifiés, employés principalement dans les services. En raison des mutations technologiques et organisationnelles, les trajectoires sont de plus en plus fragmentées et la prévention de moins en moins intégrée. Les travailleurs qui pâtissent de ces mutations sont de moins en moins impliqués dans leur entreprise.

Scénario 1.2 : Trajectoires professionnelles fragmentées et hétérogènes

Le monde du travail est en transformation en raison des évolutions techniques mais aussi managériales ; la flexibilité et la pluriactivité se développent. Les trajectoires sont fragmentées mais les entreprises impliquent de plus en plus les salariés dans l'organisation du travail en leur laissant beaucoup d'autonomie. Dans ce contexte les travailleurs les plus âgés sont dés-

tabilisés et fragilisés alors que les plus jeunes s'adaptent et adhèrent plus volontiers à ces évolutions des entreprises. Cependant, il existe des différences sectorielles importantes qui influencent, notamment, le niveau de prise en compte des enjeux de SST en fonction des « cultures métiers ».

Scénario 1.3 : Des entreprises furtives : l'agilité au service de la marque

Dans un contexte d'augmentation des phénomènes d'externalisation (sous-traitance) et d'automatisation, les collectifs de travail sont mis à mal et la prévention est de moins en moins intégrée. Cette externalisation se traduit par un effacement des entreprises (et une dilution des responsabilités) au profit de marques puissantes qui proposent une offre de services globale. Les carrières sont marquées par la segmentation des emplois, conduisant à des mobilités fréquentes dans un contexte d'intensification du travail, ainsi qu'à une dualisation de l'emploi liée à l'employabilité plutôt qu'à l'âge : qualifiés bien intégrés d'un côté et peu qualifiés très précarisés de l'autre. Les travailleurs sont dans une logique de marchandisation de leur force de travail sans adhésion possible à une politique d'entreprise, illisible en raison de la flexibilité extrême de l'organisation de la production en fonction des exigences des différentes marques.

Scénario 1.4 : Flexisécurité et culture de l'employabilité

La mise en place d'un pacte social associant flexisécurité et travail soutenable a renforcé l'adhésion aux valeurs du travail. La fluidité des parcours est organisée

en fonction des opportunités du marché de l'emploi, mais aussi des savoirs profanes développés par les travailleurs, considérés au même titre que les savoirs experts. Dans ce contexte, on assiste à une montée des organisations apprenantes, favorisée par l'utilisation croissante des nouvelles technologies et les références à la responsabilité sociale et environnementale (RSE). Les collectifs de travail prennent toute leur place dans un recours renforcé aux Actions de formation en situation de travail (AFEST).

THÈME 2 : GESTION DE LA SST

Scénario 2.1 : La santé au travail intégrée à la santé publique

Le système de santé au travail a été profondément réformé avec pour conséquence un pilotage par l'État en coordination interministérielle. Sur le terrain, tous les acteurs de la SST sont rassemblés, rattachés aux agences régionales de santé (ARS) et fonctionnent comme des services déconcentrés déployant des plans d'action nationaux thématiques construits, notamment, autour d'objectifs de santé publique (nutrition, activité physique, tabac...) et de prévention de la désinsertion professionnelle. Les formations obligatoires thématiques des salariés sont abandonnées au profit du développement d'une culture globale de santé dont l'apprentissage est largement reporté sur la formation initiale dans laquelle la santé publique englobe la santé au travail. Les spécificités de la SST sont dévolues à des spécialistes présents dans les grandes entreprises et dans les services déconcentrés, intervenant, notamment, au bénéfice des très petites et moyennes entreprises (TPE-PME). Ces experts

Quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?

font l'objet de programmes de formation continue importants assurant l'adéquation de leurs compétences aux évolutions des enjeux et des programmes d'action nationaux.

Scénario 2.2 : Responsabilisation des entreprises en matière de SST

La responsabilisation de l'employeur en matière de formation à la SST est renforcée. Les formations obligatoires sont supprimées au bénéfice d'une approche plus souple exigeant du chef d'entreprise la démonstration de l'adéquation des compétences du travailleur avec les exigences du poste de travail qu'il occupe (y compris les compétences pour assurer la SST à ce poste). Des entreprises intègrent cet enjeu à leur stratégie. Les employeurs peuvent se référer aux préconisations d'une structure nationale dédiée à la formation à la SST qui élabore les référentiels de formation (par métier) et les actualise grâce à un observatoire des besoins. Ces formations sont dispensées par des organismes de formation dans le cadre d'un marché concurrentiel.

Scénario 2.3 : L'environnement de travail connecté

Les progrès technologiques ont profondément changé les modes de production à travers un renforcement de la digitalisation des instruments et un développement des capteurs. Un environnement très connecté permet des alertes rapides, en particulier pour les dangers graves et imminents. Selon les entreprises, la réponse en termes de prévention repose sur des systèmes automatisés et/ou sur des décisions humaines d'équipes spécialisées en SST. Cela se traduit par une disparition des

exigences en matière de capacité d'analyse et de réaction des travailleurs au bénéfice de formations spécialisées à destination des concepteurs de systèmes de surveillance et de protection. La santé au travail a été intégrée dans un service de la santé publique, piloté par l'État. La formation à la SST est assurée dans le cadre d'un système unifié aux niveaux national et régional.

Scénario 2.4 : L'Homme augmenté (et scruté)

Les progrès technologiques ont profondément changé les modes de production, à travers un renforcement de la digitalisation des instruments et un développement des capteurs. Dans des usines très connectées, les salariés, équipés de dispositifs de suivi en direct des risques, de leurs expositions et de leur état de santé, reçoivent en direct tous les éléments nécessaires à la prise de décision en matière de prévention des risques professionnels. Cela correspond à un fort déclin des formations initiales et continues à la SST : celles-ci sont définies par un observatoire qui élabore des référentiels à destination des organismes de formation en fonction des besoins identifiés. Le suivi en continu d'indicateurs de santé chez les individus renforce le rôle des mutuelles dans la prévention des risques professionnels.

Scénario 2.5 : La SST, un enjeu national

Confrontés à une montée du rejet des technologies, les pouvoirs publics limitent le recours aux instruments de surveillance et de pilotage automatisé des installations. Il en résulte un transfert accru des exigences de maîtrise

vers l'humain. La formation (initiale et continue) à la prévention des risques professionnels en est renforcée, tant pour le développement des formations transverses que des formations spécialisées obligatoires. À partir d'un observatoire des besoins, une structure dédiée élabore les référentiels qui seront mis en œuvre par l'ensemble des organismes impliqués. La santé au travail acquiert une forte visibilité tout en conservant sa spécificité.

THÈME 3 : FORMATION À LA SST

Scénario 3.1 : Agilité et libéralisation guidées par l'Assurance maladie-Risques professionnels

Dans un paysage de la formation très libéralisé et éclaté, l'Assurance maladie-Risques professionnels se positionne en prescripteur. Elle définit les référentiels pour la formation en SST en formation initiale et continue. Elle certifie les formateurs (souvent indépendants) mais également des dispositifs de *e-learning*. En matière de formation SST, le *blended learning* (acquisition de savoirs à distance toujours accompagnée d'une séquence pratique en présentiel) s'impose. Les technologies numériques sont mobilisées, notamment pour créer des dispositifs vers des publics spécifiques (nouveaux publics, comme les médecins généralistes) ou pour aider au pilotage d'un dispositif très éclaté.

Scénario 3.2 : E-learning à la carte et internalisation

L'Assurance maladie - Risques professionnels ne se positionne plus comme opérateur de formation. Elle participe simplement, au côté des pouvoirs publics, à la défini-

tion des contenus de formation exigibles en matière de SST. Le marché de la formation en SST est très ouvert. Il existe de multiples offres de *e-learning* auxquelles les entreprises recourent mais ces dernières les complètent avec des dispositifs de formation en situation de travail. Pour les professionnels de la prévention, les parcours de formation sont de plus en plus individualisés.

Scénario 3.3 : Les branches professionnelles comme pilotes

Les contenus des formations à la SST sont toujours définis sous la responsabilité des pouvoirs publics, en associant largement les différents acteurs : l'Assurance maladie - Risques professionnels en particulier garde un rôle important de prescripteur. Cependant, une répartition des domaines d'intervention est opérée : les branches professionnelles assurent le pilotage de la formation initiale et continue, notamment *via* les opérateurs de compétences (OPCO), à l'exception du supérieur qui reste dévolu à l'Éducation nationale. Les logiques d'accréditation et de certification sont étendues. *E-learning* et formation en situation de travail sont associées à des degrés divers en fonction des niveaux et de la nature de la formation. La technologie est fortement mobilisée à travers l'acquisition de savoirs à distance (éventuellement tutorée) et la mise en pratique *via* des outils de simulation.

Scénario 3.4 : Une ambition nationale d'intégration de la SST dans les formations, une mise en œuvre décentralisée

L'Assurance maladie-Risques professionnels poursuit son action

volontariste d'intégration de la SST dans toutes les formations, initiales ou continues, avec pour objectif de toucher de nouveaux publics. Cette décision s'accompagne d'une volonté affirmée de développer les actions à l'échelon régional en associant l'ensemble des partenaires potentiels tels que les acteurs de l'emploi, de la formation, de l'insertion et du développement économique ainsi que les branches professionnelles. L'accent est mis sur l'individualisation des parcours de formation qui doivent trouver le bon équilibre entre les atouts d'une formation collective et la nécessité d'un suivi plus individualisé. Pour ce faire, le *e-learning* et le présentiel sont mis à contribution (*blended learning*).

Scénario 3.5 : Désengagement de l'Assurance maladie-Risques professionnels, pilotage par les branches et les régions, logique de certification des formateurs

Dans un contexte de régionalisation de la gestion de la formation qui associe l'ensemble des acteurs de l'emploi, de l'insertion et du développement économique ainsi que les branches professionnelles, l'Assurance maladie-Risques professionnels abandonne toutes ses activités en formation pour se recentrer sur son activité d'assurance. Le choix est fait de privilégier une logique d'accréditation/certification qui aboutit rapidement à l'émergence de quelques gros opérateurs employant des formateurs pour la plupart sous un statut d'indépendants. La technologie est fortement mobilisée à travers l'acquisition de savoirs à distance (éventuellement tutorée) et la mise en pratique *via* des outils de simulation.

ENJEUX

Sur la base de ces éléments, le groupe de travail a testé la cohérence des scénarios du troisième thème (concernant l'évolution de la formation à la SST) avec chaque scénario des deux autres thèmes. L'objectif était d'estimer dans quelle mesure tel scénario d'évolution de la formation à la SST permettrait de faire face à tel scénario d'évolution des modes de production ou de la gestion de la SST.

Ce travail de confrontation a permis de faire ressortir les principaux défis auxquels la formation à la SST va être confrontée dans la décennie à venir. Quatre d'entre eux ont été retenus.

ADAPTER LA FORMATION À LA SST AUX TRANSFORMATIONS DU TRAVAIL

CONTEXTE

Les trois dernières décennies ont été marquées par de fortes évolutions des modes et méthodes de production. Elles ont été en particulier marquées par trois phénomènes généraux :

- la sous-traitance d'activités ;
- la délocalisation de certaines activités vers des pays à faible coût de main d'œuvre ;
- une automatisation croissante de la production et une intensification du travail favorisée par le développement des TIC.

Ces paramètres restent à l'ordre du jour. Quelques entreprises ont rapatrié une partie de leur production en France, mais cette tendance reste encore très marginale et elle se traduit généralement par une automatisation accrue : les

Quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?

conséquences sur l'emploi sont donc négligeables.

Plus généralement, l'externalisation et l'automatisation ont particulièrement impacté les emplois « intermédiaires », ceux d'ouvriers qualifiés ou non-qualifiés et d'employés, c'est-à-dire des emplois caractérisés par l'exécution de tâches cognitives et manuelles, accomplies selon un ensemble explicite de règles. Se sont en revanche développés :

- les emplois abstraits qui correspondent à des activités qualifiées mettant en œuvre des compétences cognitives non-routinières, bien rémunérés ;
- les emplois manuels non routiniers peu qualifiés et pouvant impliquer des interactions humaines, en particulier les emplois de service aux personnes.

Il faut également mentionner la sous-traitance de spécialité qui a conduit des entreprises à confier à d'autres opérateurs des travaux qui ne sont pas dans « leur cœur de métier », parfois exécutés sur le site du donneur d'ordres.

INCERTITUDES ET HYPOTHÈSES PROSPECTIVES

Une remise en cause majeure de ces évolutions paraît peu probable au cours de la décennie à venir⁽¹⁾. Elles sont susceptibles d'avoir des conséquences sur les formes d'emploi et donc sur la prévention des risques professionnels. Les principales incertitudes liées à cet enjeu sont :

- la dilution des responsabilités de certains employeurs à travers l'externalisation de leur activité et un recours accru à des travailleurs sous statut d'indépendants ou, au contraire, une meilleure prise en compte de la « communauté de

travail » réunissant entreprises utilisatrices et entreprises sous-traitantes ;

- les évolutions de la culture de prévention selon les métiers, voire les statuts. Ainsi certaines branches industrielles, parce que c'est dans leurs pratiques habituelles, envisageront les choses pour l'ensemble des travailleurs intervenant sur leurs sites quand d'autres ne prendront en compte que leurs propres travailleurs, considérant que la formation d'un intervenant extérieur, *a fortiori* s'il a un statut d'indépendant, ne les concerne pas ;

- des évolutions organisationnelles des entreprises telles que le niveau d'agilité des entreprises liée à la montée en puissance des organisations apprenantes et aux progrès d'une automatisation intelligente et flexible de plus en plus présente ; l'apparition d'entreprises (dites « libérées ») dans lesquelles l'accent est mis sur la capacité des travailleurs à décider de toute action dont ils jugeront qu'elle est utile à l'entreprise, sans en référer préalablement à une hiérarchie dont l'importance décroît ;

- la montée en puissance de la notion de RSE ou au contraire le développement d'« entreprises marques » sous-traitant la quasi-totalité de leur activité (à l'exception du marketing) à des entreprises avec lesquelles elles ne veulent entretenir que des liens commerciaux.

La question des lieux de travail se pose également : télétravail, commande d'installations à distance, itinérance de travailleurs maintenus en liaison avec leur entreprise par des TIC..., autant de facteurs qui peuvent modifier fortement

les risques professionnels et nécessiter des formations adaptées voire spécifiques.

ADAPTER LA FORMATION À LA SST À L'ÉVOLUTION DES PARCOURS PROFESSIONNELS

CONTEXTE

Les questions de l'augmentation de la mobilité professionnelle des travailleurs et de la flexibilisation accrue des emplois constituent des éléments importants dans une réflexion sur la formation à la SST. Au cours des vingt dernières années, les contrats à durée indéterminée (CDI) sont devenus moins protecteurs, l'usage de l'intérim, des contrats à durée déterminée (CDD) ou à durée de chantier a été facilité. Certains travailleurs ont dû s'adapter à une flexibilité accrue, au besoin en changeant de statut (auto-entrepreneuriat), voire en cumulant plusieurs emplois, y compris des emplois à temps partiels en complément d'un emploi à temps plein. L'agilité est devenue l'objectif des entreprises. Les modes et méthodes de production évoluant de plus en plus rapidement, les travailleurs doivent mettre à jour de plus en plus souvent leurs connaissances, voire se former à un nouveau métier dans un contexte de mutation du tissu économique. Le niveau du chômage, élevé en France depuis plusieurs décennies, a aussi contribué à des parcours professionnels discontinus.

Pour être efficaces, la formation professionnelle en général et celle liée à la prévention des risques professionnels en particulier doivent donc accompagner ces trajectoires plus heurtées et faciliter les transitions.

Sous l'influence des politiques qualité et autres, le monde du tra-

1. La crise de la Covid-19 qui est intervenue depuis est plutôt venue confirmer et accélérer ces phénomènes. Elle pourra cependant se traduire par la relocalisation d'activités considérées comme stratégiques. Mais, comme évoqué précédemment, la production sera automatisée.

vail est de plus en plus régi par la prescription. Tant pour des raisons de coûts (liés à la désorganisation de la production suivant un accident) que pour des raisons d'image, beaucoup d'entreprises mettent en œuvre des politiques, souvent normées, destinées à diminuer la fréquence des accidents du travail et des maladies professionnelles. Une incapacité du travailleur à mettre en œuvre ces règles destinées à sa propre protection et celle de son entourage immédiat peut constituer un facteur d'exclusion du marché du travail. C'est en particulier le cas pour des travailleurs plus ou moins durablement éloignés de l'emploi à leur retour dans une entreprise. Leur culture sécurité, insuffisamment entretenue, peut ne pas suffire dans un nouvel environnement où ils doivent développer leurs compétences pour l'apprentissage de nouvelles situations. Il en va de même pour certains travailleurs immigrés, ou des travailleurs ayant des problèmes de compréhension de la langue (y compris maternelle) dans laquelle sont exprimées les consignes.

INCERTITUDES ET HYPOTHÈSES PROSPECTIVES

L'augmentation des troubles musculo-squelettiques (TMS) et des risques psychosociaux (RPS), l'allongement des carrières professionnelles, mais aussi la volonté de certaines entreprises d'améliorer leur image employeur en promouvant leurs politiques RSE et de qualité de vie au travail (QVT) mettent la question de la soutenabilité du travail au premier plan. Sur ce sujet, deux évolutions contradictoires sont possibles pour la décennie à venir :

- une hypothèse marquée par le développement de trajectoires

professionnelles discontinues, de plus en plus fragmentées, influencées par la segmentation du marché du travail (en fonction de l'âge, des compétences, du sexe...) et une intensification des tâches ;

- une seconde hypothèse qui fait le pari de l'apparition d'organisations du travail plus soutenables et inclusives et de leur capacité à intégrer des stratégies de compensation développées par les travailleurs pour préserver leur santé.

Il est évident qu'au cours de la décennie à venir ces deux types d'évolution vont cohabiter avec des situations moins extrêmes. Pour être efficaces, les méthodes, les modalités et les contenus des formations devront prendre en compte l'ensemble des situations : les publics et leurs besoins seront hétérogènes. Différents paramètres contribuent à singulariser les situations comme l'insertion dans l'emploi, l'adéquation des formations aux besoins des entreprises, l'âge, la capacité à s'adapter aux changements technologiques. Les rapports à la « valeur travail » et l'attachement à l'entreprise sont également hétérogènes et en mutation.

RÉGULER ET PILOTER LA FORMATION À LA SST

CONTEXTE

Les enjeux de régulation de la formation à la SST doivent être abordés à deux niveaux : celui des obligations réglementaires s'appliquant aux entreprises et celui du contrôle et de l'encadrement du dispositif par les acteurs qui en ont la responsabilité.

À l'heure actuelle, une grande part des formations à la SST sont des formations obligatoires. Elles peuvent être définies par la régle-

mentation comme les formations amiante dont le cadre (public, durée, compétences des formateurs, modalités de mise en œuvre et d'évaluation) est défini dans un arrêté, ou indirectement comme les formations au certificat d'aptitude à la conduite d'engins en sécurité (CACES) qui sont encadrées par des recommandations des partenaires sociaux et un système d'accréditation alors que la réglementation n'impose que la délivrance d'autorisations de conduite.

Ces formations obligatoires font l'objet d'un encadrement formel, notamment dans le cadre du dispositif de démultiplication mis en place par les partenaires sociaux et géré par l'INRS et les Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT). Ainsi les organismes de formation doivent être habilités et leurs formateurs certifiés pour pouvoir dispenser certaines formations.

On note cependant que si le principe général de formation des salariés à la santé et sécurité au travail s'impose aux entreprises, il n'existe pas de référentiel précisant le contenu d'une formation transverse de base en prévention qui devrait être dispensée à tous. Chaque entreprise est responsable de l'adéquation entre les formations suivies par les salariés et le poste de travail qu'ils occupent.

Le dispositif actuel de formation à la SST repose très largement sur trois familles d'acteurs :

- les pouvoirs publics à travers le ministère du Travail qui définit les formations obligatoires et l'Éducation nationale qui dispense un grand nombre de formations dans le cadre des formations secondaires⁽²⁾ ;

- l'Assurance maladie-Risques professionnels et l'INRS qui

2. Concernant la formation initiale, un travail conduit de longue date par l'Assurance maladie-Risques professionnels permet l'intégration d'enseignements de la SST dans de très nombreux référentiels pédagogiques de filières professionnelles.

Quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?

assurent un rôle central dans la définition de référentiels, la formation de formateur, l'organisation de la démultiplication... ;

- les organismes des formations, notamment ceux habilités/accrédités, qui opèrent les formations dans le cadre d'un marché encadré mais concurrentiel.

INCERTITUDES ET HYPOTHÈSES PROSPECTIVES

L'évolution du régime de la responsabilité de l'employeur en matière de SST pourrait avoir une influence importante sur la régulation de la formation à la SST.

Dans l'hypothèse d'une accentuation du principe d'obligation de résultat, le nombre de formations obligatoires pourrait diminuer au profit d'une plus grande liberté des entreprises dans la gestion des compétences de leurs salariés en matière de SST.

Mais il est également possible d'envisager un renforcement et une harmonisation des dispositifs de formations obligatoires. L'acquisition et la validation d'un socle de compétences en SST pourraient même devenir une obligation préalable à l'accès à un emploi.

Une autre incertitude concerne le niveau d'implication des acteurs nationaux dans l'encadrement des dispositifs de formation à la SST. Le rôle que joue l'Assurance maladie-Risques professionnels, notamment *via* l'INRS, dans l'encadrement des dispositifs de démultiplication pourrait évoluer, en se renforçant pour encore plus d'intégration de la SST dans toutes les formations ou, au contraire, vers un désengagement plus ou moins fort.

Enfin, au regard des parcours professionnels, dont on a vu qu'ils tendent à être de plus en plus fractionnés, la question se pose de l'individualisation de la gestion des compétences en SST. Le salarié ne sera-t-il pas à l'avenir le principal responsable et gestionnaire de ses qualifications dans ce domaine (comme dans d'autres) ?

ADAPTER LES MODALITÉS DE FORMATION À LA SST

CONTEXTE

Les nouvelles TIC ont entraîné des évolutions importantes de la manière de former. Ces mutations vont se poursuivre dans les prochaines années.

D'une part, elles offrent des possibilités nouvelles dans la manière d'enseigner et d'apprendre : *e-learning*, supports multi-media, outils de simulation...

D'autre part, en raison de l'accès quasi illimité aux connaissances que permet Internet, elles entraînent une modification des rapports entre formateurs et apprenants. Les premiers ne peuvent plus adopter une posture unique de sachant délivrant leur savoir. Leur rôle évolue de plus en plus vers celui d'un guide accompagnant les personnes dans leur

processus d'acquisition de compétences nouvelles.

La monétisation de la formation accentue cette évolution des attitudes, les stagiaires adoptant de plus en plus des postures de clients. Il est à noter qu'une partie importante des formations à la SST mobilise une dimension applicative qui peut difficilement être totalement dématérialisée. C'est par exemple le cas des formations sauvetage-secourisme du travail, prévention des risques liés à l'activité physique (PRAP), amiante ou pour les CACES.

INCERTITUDES ET HYPOTHÈSES PROSPECTIVES

Une première incertitude concerne la part que tiendra la formation initiale dans l'enseignement de la SST. Dans celle-ci, le formateur (l'enseignant) joue un rôle d'accompagnement dans la durée, un temps important étant généralement consacré à la formation en présentiel.

La formation continue, pour sa part, peut donner lieu à des modalités de formation plus variées : stages courts, *e-learning*, alternance, formation en situation de travail, *blended learning* (apprentissage hybride)... Il est important d'avoir une réflexion sur les parts respectives de ces techniques dans les dispositifs de formation.

De même, la question du niveau de contrôle des contenus dispensés selon ces différentes modalités et de leurs évaluations se pose.

Certaines de ces nouvelles modalités offrent de plus grandes possibilités d'autoformation des travailleurs qui peuvent par exemple décider seuls de suivre et de valider un MOOC (*Massiv Open Online Courses*) ou un autre dispositif d'autoformation.

↓ Encadré 2

MEMBRES DU GROUPE DES PARTENAIRES SOCIAUX

Dominique Boshier, Claude Le Quintrec, CFDT
Bernard Salengro, CFE-CGC
Sébastien Garoutte, Micaella Bracciaferri, CFTC
Myriam Armengaud, Emilie Cantrin, CGT
Pierre Thillaud, CPME
Ronald Schouller, Maxime Raulet, FO
Richard Langlet, Medef
Daniel Boguet, Jean-Baptiste Moustié, U2P

SEPT QUESTIONS STRATÉGIQUES POUR LA FORMATION À LA SST DANS LES DIX PROCHAINES ANNÉES

L'ensemble des matériaux produits par le groupe de travail et exposés précédemment a ensuite été fourni à un second groupe constitué de représentants des partenaires sociaux (encadré 2). En tant qu'administrateurs de l'Assurance maladie-Risques professionnels et de l'INRS, ils auront un rôle d'orientation important à jouer pour l'encadrement des dispositifs de formation à la SST. Il est donc apparu utile de conduire une série de séminaires consacrés à ces enjeux. L'objectif était de s'approprier ces éléments de réflexion et d'en débattre pour identifier ce qui leur semble être les principales questions qu'ils devront traiter pour orienter la formation à la SST vers un futur souhaitable.

Ce travail des partenaires sociaux les a amenés à définir sept questions stratégiques présentées ici avec les principaux points qui sont ressortis des échanges.

QUELS OBJECTIFS DE FORMATION À LA SST À CHAQUE ÉTAPE DE L'ÉDUCATION ?

S'il ne semble pas pertinent de commencer à enseigner la prévention des risques professionnels dès le primaire, l'éducation à la santé permet aux élèves d'acquérir les bases qui ouvriront des liens plus tard avec les questions de SST. C'est par exemple le cas pour l'enseignement des gestes qui sauvent dont les acquis seront utiles pour les formations au sauvetage-secourisme du travail.

Au collège, il peut être envisagé de

mettre à profit le stage d'observation de 3^e pour commencer à aborder les questions de prévention des risques professionnels.

Dans les filières professionnelles (lycées et Centres de formation des apprentis - CFA) et professionnalisantes (post-bac et universités), l'acquisition des règles générales de la prévention des risques professionnels est importante pour fournir à chacun les éléments de base, transversaux, d'une culture de prévention qui sera à construire et entretenir tout au long du parcours professionnel.

Dans la mesure du possible, la prévention du risque doit être acquise en même temps que la pratique professionnelle, ce qui implique son inclusion dans les référentiels des diplômes.

La question d'une formation spécifique en direction des jeunes en premier emploi et/ou en emploi saisonnier mérite par ailleurs d'être considérée au regard des forts niveaux de sinistralité associés aux périodes de prises de fonction sur un nouvel emploi.

QUEL NIVEAU D'EXIGENCE POUR LES COMPÉTENCES EN SST ?

Les carences dans les connaissances essentielles à la sécurité devraient davantage peser dans l'obtention des diplômes et certifications. C'est déjà le cas pour un certain nombre de formations, par exemple l'habilitation des électriciens.

Il est donc nécessaire de se poser la question de l'importance accordée (coefficient) aux connaissances en SST dans les différents diplômes et certifications. Cela concerne toutes les formations professionnelles y compris les cursus en management.

FACE À DES PARCOURS PROFESSIONNELS DE MOINS EN MOINS LINÉAIRES, COMMENT MAINTENIR, ADAPTER ET TRACER LES COMPÉTENCES EN SST ?

Le temps et les moyens dévolus à la formation continue sont plutôt en réduction, malgré les objectifs affichés.

La modularité des formations (qui permet que des connaissances acquises dans une formation ne fasse pas l'objet d'un nouvel enseignement dans une autre formation) constitue une piste intéressante, mais elle doit être assortie de conditions comme, par exemple, une durée définie de validité de chaque module.

Le constat est fait que les certifications en SST peuvent être des critères de sélection à l'embauche et que les recruteurs demandent souvent des garanties sur les compétences en SST des candidats. Ce caractère décisif à l'embauche de certaines certifications en SST peut pousser à la formation à la SST hors entreprise (dans le cadre de démarches individuelles ou de dispositifs d'insertion, échappant ainsi au plan de développement des compétences de l'entreprise). La création d'un « passeport SST » est une réponse possible mais elle suscite un débat entre partenaires sociaux.

QUEL RÔLE POUR LES BRANCHES PROFESSIONNELLES ET LES SERVICES DE SANTÉ AU TRAVAIL ?

Les branches professionnelles sont très bien positionnées, notamment grâce aux Opérateurs de compétences (OPCO), pour une intégration de la SST dans les cursus de formation métiers. Il serait

Quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?

intéressant de renforcer les liens avec les comités techniques nationaux (CTN) de l'Assurance maladie-Risques professionnels qui, notamment à travers des recommandations, peuvent dégager des priorités d'action en SST en fonction des métiers.

Pour ce qui concerne les TPE-PME, les branches professionnelles pourraient contribuer, avec les chambres consulaires, à l'organisation de sessions de formations locales, au niveau des bassins d'emploi.

Par ailleurs, il est nécessaire de réfléchir au rôle que les services de santé au travail pourraient jouer : leur proximité avec les plus petites entreprises en fait des acteurs utiles pour les conseiller sur la formation à la SST dans une logique de priorité donnée à la prévention primaire.

QUELLES NOUVELLES CIBLES ?

Une meilleure sensibilisation/formation de certains acteurs est souhaitable, notamment pour :

- les créateurs d'entreprises et indépendants, souvent exposés aux mêmes risques que les salariés et acteurs de la prévention de ces derniers ;
- les concepteurs (aussi bien de lieux et d'équipements, que de logiciels et procédures d'organisation du travail) dont l'activité est déterminante pour les conditions de travail des salariés ;
- les acteurs de l'insertion professionnelle institutionnels ou *de facto* (CFA, agences d'interim, services de Pôle emploi, Cap emploi...) pour qu'ils intègrent mieux les questions de conditions de travail dans leurs démarches auprès des recruteurs.

Un effort particulier de formation des managers et des chefs d'entreprise est également nécessaire. Les managers doivent être formés à la sécurité et à la préservation de la santé physique et mentale des équipes. C'est d'autant plus indispensable compte tenu de la rotation de plus en plus rapide sur les postes de management. Les formations à la SST auxquelles participent les salariés de TPE-PME pourraient être également ouvertes aux chefs d'entreprise, voire intégrer un volet de formation conjointe.

QUEL APPORT DES TIC À LA FORMATION À LA SST ?

Un usage croissant des TIC est inéluctable dans les années à venir. Ceux-ci modifient les parcours de formation en permettant :

- des parcours autonomes *via* des dispositifs d'autoformation, des MOOC ou des SPOC (*Small Privat Online Courses*)... ;
- une personnalisation plus forte des contenus ;
- le tutorat par un formateur à distance ;
- de nouvelles possibilités d'animation de groupe, y compris en présentiel ;
- de nouvelles possibilités d'apprentissage en immersion dans des environnements dangereux grâce à la réalité virtuelle ;
- l'accès à la formation de certains publics (TPE-PME, travailleurs handicapés, publics éloignés géographiquement...).

En l'état actuel des techniques, elles ne peuvent se substituer complètement à certaines actions en présentiel (apprentissage du bouche à bouche et/ou du massage cardiaque externe sur man-

nequin ou conduite d'engin pour les CACES par exemple).

L'utilisation des TIC amène aussi à de nouvelles combinaisons de séquences de formation en ligne et en présentiel (*blended learning*) ; par exemple pour acquérir les prérequis avant de commencer une formation. L'INRS exige ainsi que les stagiaires s'inscrivant à certaines formations valident préalablement l'autoformation « *Acquérir les bases en prévention des risques professionnels* ». Les TIC peuvent aussi faciliter les échanges entre formateurs et stagiaires, en amont, pendant et en aval des stages.

Les TIC peuvent également accentuer le phénomène d'individualisation des démarches de formation et ne règlent pas l'ensemble des problèmes d'accès à la formation des moins qualifiés (problèmes d'illettrisme, fracture numérique...).

QUELLES GARANTIES POUR UNE OFFRE DE FORMATION DE QUALITÉ À LA SST ?

Il y a un enjeu à s'assurer en amont de la qualité et de la pertinence des contenus de SST, des certifications (diplômes, certificats) enregistrées auprès de France Compétences (certifications et habilitations en SST notamment).

Les dispositifs de type habilitation/certification, tels que développés par l'INRS et l'Assurance maladie-Risques professionnels pour gérer la démultiplication apportent certaines garanties. Ces garanties pourraient peut-être être encore renforcées à l'avenir *via* des outils innovants (modules en distanciel, support et outillage des formateurs, outil centralisé de validation des acquis...).

CONCLUSION

La principale fonction de la prospective est de fournir des éléments aidant les décideurs dans leurs choix politiques pour les années ou décennies à venir. Depuis 2013, l'INRS a créé une mission prospective qui a traité de sujets très variés (robots d'assistance physique, nanomatériaux, organisation de la production, économie circulaire...). Pour la première fois, dans

le cadre de cet exercice consacré à la formation à la prévention des risques professionnels, la partie technique (élaborée par un groupe pluridisciplinaire) a été complétée par une partie « stratégique » dans laquelle les enjeux issus des réflexions du groupe pluridisciplinaire ont été discutés et enrichis par des acteurs de la gouvernance. S'agissant de prospective, l'objectif est bien d'alimenter leurs réflexions et non pas de produire des recommandations.



ABONNEZ-VOUS D'UN SIMPLE CLIC
www.rst-sante-travail.fr

**UN ABONNEMENT GRATUIT,
POUR UNE DURÉE DE 2 ANS**

Prévalence, prévention et politique en matière de troubles musculosquelettiques: qu'avons-nous appris ? Preuves issues de la recherche de l'EU-OSHA*

Conférence en ligne, 22 octobre 2020

EN RÉSUMÉ

AUTEURS :

A. Cuny, A. Aublet-Cuvelier, L. Kerangueven, E. Peris, A. Savescu, INRS

Pour conclure son programme de recherche pluriannuel 2018-2020 sur les troubles musculosquelettiques (TMS) liés au travail, l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (*European Agency for Safety and Health at Work* ou l'EU-OSHA) a organisé cette conférence en ligne. Cette journée a permis l'étude des problématiques relatives aux TMS liés au travail, des politiques de prévention et des interventions sur le lieu de travail dans un objectif de prévention primaire et de facilitation du maintien et du retour en emploi. Cette conférence marquait également le lancement de la campagne européenne 2020-2022 « Pour un travail sain, allégez la charge » : <https://osha.europa.eu/fr/publications/campaign-guide>

MOTS CLÉS

Trouble musculo-squelettique / TMS / Pathologie articulaire
Maintien dans l'emploi / Risque psychosocial / RPS

* European Agency for Safety and Health at Work : Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail

INTRODUCTION

C. Sedlatschek (EU-OSHA) a rappelé l'importance du sujet, les troubles musculosquelettiques (TMS) étant la première cause d'arrêt maladie de longue durée et de retraite anticipée. Tous les secteurs étant touchés, cette problématique devrait être prioritaire dans toutes les politiques nationales. La campagne EU-OSHA pour les lieux de travail sains « *lighten the load* » (alléger la charge) a été lancée le 12 octobre. Elle utilisera les résultats des études menées ces dernières années et qui ont été brièvement présentées lors de la conférence. *M. Curtarelli* (EU-OSHA) a rappelé l'étendue des travaux réalisés, avec de nombreuses publications et des projets toujours en cours. L'ensemble des documents est accessible sur le site web de la campagne : <https://healthy-workplaces.eu/>. *L. Munar* (EU-OSHA) a pointé quelques don-

nées sur l'importance, l'évolution et les pistes de recherche concernant les TMS ces dernières années à partir des enquêtes européennes ESENER (*European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks* – enquête européenne des entreprises sur des risques nouveaux et émergents), EWCS (*European Working Conditions Surveys* – enquêtes européennes sur les conditions de travail) et LFS (*Labour Force Survey* – enquête sur les forces de travail). Il en ressort notamment que 60 % des problèmes de santé liés au travail sont des TMS et que les femmes et les travailleurs plus âgés sont plus concernés. La prévalence est toutefois préoccupante chez les sujets plus jeunes et justifie de prévenir le risque dans cette population également. Malgré l'ampleur de l'impact négatif des TMS en termes de santé en général (fatigue, troubles du sommeil) ou d'absences répétées et/ou longues du travail, l'orateur a clos son inter-

Prévalence, prévention et politique en matière de TMS : qu'avons-nous appris ?

Preuves issues de la recherche de l'EU-OSH

vention avec le constat que les actions de prévention fonctionnent, la proportion de TMS diminuant avec l'augmentation des mesures de prévention mises en place.

POLITIQUES DE PRÉVENTION EFFICACES POUR PRÉVENIR LES TMS : DE LA RECHERCHE À LA PRATIQUE

R. Graveling (*Institute for Occupational Medicine – Institut de médecine du travail, Royaume-Uni*) a présenté une synthèse du travail réalisé par l'EU-OSHA portant sur les politiques de prévention de différents pays. Ce projet visait à mieux comprendre pourquoi les TMS demeurent un enjeu majeur de santé au travail en Europe, en matière de recherche, dans la mise en œuvre des mesures de prévention sur les lieux de travail et au niveau politique. Trois approches ont été mises en œuvre. (1) Une revue de la littérature a permis de mettre en évidence des facteurs limitant les progrès en matière de prévention des TMS. (2) Un recensement des stratégies, politiques et actions menées au sein des pays européens, des États-Unis d'Amérique, du Canada et de l'Australie a conduit à l'identification de 142 initiatives avec un focus sur 25 d'entre elles. (3) Cette analyse, combinée à des entretiens d'experts et de responsables des politiques gouvernementales, a permis une analyse approfondie des stratégies et des politiques en matière de prévention de TMS de 6 pays (Autriche, Belgique, France, Allemagne, Suède et Royaume-Uni). Six rapports approfondis proposent ainsi des facteurs de réussite en matière de politiques de prévention. Les résultats montrent que le vieillissement de la popu-

lation, la prise en compte insuffisante des différences de sexe en matière de mécanismes de survenue, de nouvelles formes de travail à l'origine de risques émergents (comme le télétravail) sont apparus comme limitant les progrès en matière de prévention des TMS. Ces progrès limités s'expliqueraient aussi par la difficulté à adopter une approche holistique dans l'évaluation du risque, intégrant non seulement des facteurs de différents ordres mais nécessitant également de prendre davantage en compte des facteurs d'exposition non professionnels. Une des difficultés réside ainsi dans le fait qu'en matière de TMS, l'exposition à un certain nombre de facteurs de risque de TMS, non spécifiques au monde du travail, continue dans la sphère privée (notamment l'augmentation du temps passé devant les écrans au domicile par exemple). Cette revue de la littérature a également montré que l'évaluation des risques n'était pas systématique. Lorsqu'elle est réalisée, elle ne prend pas nécessairement en compte l'ensemble des facteurs de risque. Enfin, en matière de prévention, les approches sont trop souvent centrées sur l'apprentissage et les rotations de poste plutôt que sur une approche ergonomique de la situation de travail. Selon les auteurs, les TMS ne reçoivent pas toujours l'attention nécessaire et leur prévention ne repose pas systématiquement sur une stratégie claire. Certaines approches apparaissent cependant mieux coordonnées. La France, par exemple, est citée en raison de son approche globale fondée sur une série d'initiatives adoptant des approches variées en matière de recherche, de sensibilisation, de programmes de soutien, tels que la démarche TMS Pros. La Suède, de son côté, a fait le choix de se focaliser sur un aspect, en met-

tant au centre de la démarche la question du genre et les activités où les femmes restent majoritaires. Enfin, si les approches européennes sont majoritairement très prescriptives et fondées sur des mesures dissuasives, certains pays, comme le Royaume-Uni, se démarquent par une approche essentiellement incitative fondée sur l'information, la responsabilisation et le soutien aux dirigeants. R. Graveling conclut sur les principaux facteurs de réussite pour progresser en matière de prévention des TMS : l'engagement au plus haut niveau possible (gouvernements) sur la thématique, le renforcement de la mobilisation et le développement de ressources pour les dirigeants, les approches globales tenant compte de l'ensemble des facteurs de risque au travail en intégrant les facteurs extra-professionnels et enfin, la prévention des TMS à la « source », c'est-à-dire, le plus en amont possible, notamment dès la conception des lieux de travail, des équipements ou des modes opératoires.

TRAVAILLER AVEC DES TMS CHRONIQUES : COMMENT L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL PEUT SOUTENIR LES INDIVIDUS

A. Woolf (*Royal Cornwall Hospital – Hôpital royal Cornwall, Royaume-Uni*) a rappelé que les maladies musculosquelettiques chroniques, aussi appelées maladies rhumatismales et musculosquelettiques, représentent différentes atteintes (notamment sciatique, dorsalgie, tendinite, syndrome du canal carpien, ostéoarthrite, ostéoporose) qui affectent les os, les articulations, les muscles, les tendons et les tissus qui les entourent. Elles se manifestent par des douleurs et

des fonctions physiques altérées. En Europe, elles touchent un adulte sur 5 et représentent les maladies les plus répandues chez les adultes en âge de travailler. En tant que praticien en rhumatologie, A. Woolf différencie les causes et les risques de ces maladies. Les causes seraient plutôt liées aux maladies inflammatoires, à l'âge, aux traumatismes et aux blessures (sportives ou dues au travail). Les risques seraient plutôt liés à l'obésité, au tabac, à l'excès d'alcool, au manque d'activité physique et à des facteurs biomécaniques. Pour certaines personnes touchées, seule la douleur est décrite et le lien avec les TMS et le travail n'est pas identifié. Cette douleur est invisible pour l'entourage, ce qui peut discréditer la personne souffrante et conduire à la frustration. De même, ces maladies se manifestent aussi par des difficultés à réaliser des activités physiques ou par des troubles du sommeil et, à terme, évoluent vers le stress, la dépression, l'anxiété, le manque de confiance dans l'avenir ou la peur de perdre son emploi. Toutes ces manifestations ont des conséquences autant dans la sphère privée que professionnelle. Les TMS chroniques impactent l'activité professionnelle qui peut, à son tour, aggraver ces maladies. Elles sont la première cause de perte d'emploi. Dans ces conditions, les individus gèrent seuls la douleur et ces maladies, ils n'évoquent pas leurs difficultés avec leur employeur et développent leurs propres stratégies pour rester au travail mais sont souvent moins productifs. Afin de permettre un maintien dans l'emploi de ces personnes, il faut construire un environnement de travail capable de : protéger et promouvoir la santé musculosquelettique, encourager des interventions de prévention dès les pre-

miers stades de la maladie, réaliser des ajustements nécessaires au maintien dans l'emploi et prévoir des plans complets de rééducation et de retour au travail.

Pour protéger et promouvoir la santé musculosquelettique, A. Woolf recommande d'éviter les habitudes préjudiciables à la santé (tabac, excès d'alcool notamment) et les activités à risque (postures statiques, comportement sédentaire ou mouvements répétitifs) et suivre des pratiques plus sécuritaires telles que rester actif physiquement, garder un poids idéal. Par ailleurs, concevoir des lieux de travail qui minimisent ces risques devrait être une priorité pour les entreprises.

Afin d'encourager des interventions de prévention dès les premiers stades de la maladie, il faut favoriser et encourager les employés à évoquer leurs problèmes de santé avec leurs employeurs. De même, il faudrait sensibiliser les employeurs à prendre en compte ces discussions et les premiers signes de douleurs et à agir en conséquence. La clé serait d'agir aussi vite que possible en développant une culture de bien-être au travail à tous les niveaux et en facilitant l'accès des personnes souffrantes aux professionnels de santé.

Par ailleurs, une bonne communication dès les premiers stades de la maladie peut amener à des solutions simples et aux ajustements nécessaires au maintien dans l'emploi de ces personnes. Pour instaurer de bonnes pratiques de communication, l'encadrement de proximité et les collègues ont un rôle très important. Les solutions se trouvent à plusieurs niveaux du contenu du travail (variabilité des tâches, flexibilité, respect des critères ergonomiques, exclusion des tâches qui peuvent aggraver la maladie...), de l'organisation du

travail (ajustement des horaires de travail et leur flexibilité, télétravail, possibilité de prendre des pauses...), de l'équipement et du poste de travail (matériel adapté) ou de l'accompagnement (par le médecin du travail). Faciliter le retour au travail en proposant une aide pour le trajet domicile-travail et assister ces travailleurs dans l'évolution de la carrière professionnelle font aussi partie des solutions à envisager. Ces mesures doivent être prises en concertation avec les professionnels de santé et/ou des ergonomes. Prenant en compte des études de cas, plusieurs facteurs de succès de maintien ou retour dans l'emploi ont été identifiés : se sentir valorisé et avoir la volonté de rester dans l'emploi, avoir le soutien de la hiérarchie et des collègues, bénéficier d'une culture de l'entreprise orientée vers la communication sur les problèmes de santé et la recherche des solutions, permettre une collaboration entre l'employé, l'employeur et le service de santé au travail et pouvoir réaliser son travail en télétravail ou bénéficier des horaires de travail flexibles. L'absence de ces éléments au sein de l'entreprise est associée à de longues absences du travail et au départ précoce à la retraite.

Dans ces actions, le rôle des managers de proximité est primordial. Ils doivent être formés à la compréhension de la survenue de TMS, à l'évaluation des facteurs de risque et aux possibles solutions de prévention ainsi qu'à leurs responsabilités sur la santé et la sécurité de leurs collaborateurs. De même, il est indiqué de rester à l'écoute des salariés et les orienter vers des personnes et services en mesure de les accompagner.

En conclusion, A. Woolf est revenu sur l'importance de la prise en charge précoce de la problématique des TMS chroniques. Il a rap-

Prévalence, prévention et politique en matière de TMS : qu'avons-nous appris ?

Preuves issues de la recherche de l'EU-OSH

pelé que ces maladies représentent la principale cause de maladie professionnelle et de perte d'emploi, associées à des problèmes d'ordre psychosocial et économique. Il a également rappelé que l'une des mesures les plus simples et les plus efficaces était d'instaurer un climat de confiance et de communication entre les employés et les employeurs sur le sujet afin de permettre la prise en charge précoce de cette problématique.

RISQUES PSYCHOSOCIAUX ET TMS : QUE SAVONS-NOUS ?

Y. Roquelaure (Université d'Angers, France) a présenté l'impact des facteurs psychosociaux et organisationnels sur le risque de TMS et leur prévention. Il a d'abord rappelé les principales évolutions qui ont marqué le milieu du travail au cours des dernières décennies, concernant en particulier l'intensification du travail et l'accroissement de certains facteurs psychosociaux. Parmi eux, ont été cités l'augmentation de la pression temporelle, les conflits de valeurs au travail et ceux liés à la qualité du travail. Dans le même temps, était soulignée la persistance de contraintes biomécaniques « traditionnelles » dans l'activité de travail, le tout dans un contexte socio-économique en perpétuel changement.

S'appuyant sur la littérature scientifique et son expertise dans ce domaine, l'orateur a détaillé les relations entre facteurs psychosociaux, facteurs biomécaniques et TMS, en distinguant les effets à court et long termes de la co-exposition, et en considérant la voie biologique du stress et les mécanismes phy-

siopathologiques pouvant expliquer la survenue, l'aggravation et la chronicisation des TMS.

En prenant l'exemple du travail temporaire, il a illustré, sous la forme d'une boucle infernale, les effets potentiellement délétères de cette forme de travail sur le risque de TMS. Des travailleurs temporaires sont embauchés pour réaliser des activités non reconnues en termes de compétences et de savoir-faire. Manquant de formation et d'expertise, ils sont mis en difficulté et ne parviennent pas à assurer la productivité attendue. Les exigences de travail s'en trouvent accrues pour les salariés expérimentés dont le travail s'intensifie dans ses composantes physiques et psychosociales, à l'origine d'un accroissement de leur absentéisme. Celui-ci est comblé par l'embauche de nouveaux travailleurs temporaires et la boucle infernale est ainsi entretenue.

A ensuite été exposé un cadre théorique décrivant les liens entre l'organisation du travail, les facteurs de risques, professionnels et extra-professionnels, de TMS et leur impact sur la santé physique et mentale, sur la santé publique, ainsi que sur les conditions d'emploi et la performance de l'entreprise en matière de productivité et de qualité. Puis a été expliqué en quoi la prévention des TMS était influencée par cette dynamique d'apparition et d'entretien des TMS. La prévention doit reposer sur une approche pluri-factorielle, dans une perspective ergonomique et holistique. Elle questionne les pratiques organisationnelles de production et les pratiques managériales, pour tendre vers des modèles de production plus soutenables et socialement responsables. Elle doit conduire à des approches collectives et orga-

nisationnelles de prévention mais aussi à des approches individualisées, en particulier dans le cadre du maintien et retour au travail des personnes atteintes.

L'intervention s'est achevée avec la présentation des principales pistes de recherche à investir ou à approfondir au cours des prochaines années. Sont retenues parmi elles l'identification de leviers de prévention des TMS sur le long terme, la recherche épidémiologique sur les facteurs psychosociaux émergents (exigences émotionnelles, conflits de valeurs) en lien avec les TMS ainsi que la recherche interventionnelle. Celle-ci devrait mettre l'accent sur les modalités d'une intégration plus affirmée des facteurs organisationnels et psychosociaux dans les programmes de prévention des TMS. Elle pourrait viser à mieux identifier les freins et leviers à la mise en œuvre et à la soutenabilité des démarches de prévention, en mettant l'accent sur l'évaluation de leur faisabilité et acceptabilité.

PANORAMA TMS : DIVERSITÉ DES PROFESSIONS, DES SECTEURS ET DE LA MAIN-D'ŒUVRE

Cette session s'est intéressée à la prévention des TMS dans les secteurs de l'agriculture et de l'aide et du soin à la personne, mais aussi à l'effet du genre sur la prévention des TMS et enfin à l'impact de la position assise prolongée sur la santé.

A. Schneider Graziosi (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro – Institut national italien d'assurance contre les accidents du travail,

Italie) a présenté une étude de cas sur l'agriculture, menée dans la région des Marches en Italie. L'étude a mis en évidence les facteurs de risques biomécaniques qu'imposent 4 types d'activités agricoles : la viticulture, l'oléiculture, la culture d'arbres fruitiers et la culture de la fraise. Les mouvements répétitifs, les postures contraignantes et les efforts physiques (port de charge) ont notamment été identifiés. Des exemples d'actions visant à mécaniser les tâches les plus contraignantes ont été évoqués. La nécessité d'adopter des méthodes d'évaluation des risques communes entre les états membres de l'UE afin de comparer les situations et partager les bonnes pratiques a également été soulevée.

L. Andersen (*National Research Centre for the Working Environment* – Centre national de recherche sur l'environnement de travail, Danemark) a ensuite proposé un éclairage sur la prévention des TMS dans le secteur de l'aide et du soin à la personne. Le secteur présente une prévalence élevée de TMS et est soumis à de nombreux facteurs de risques, qu'ils soient biomécaniques ou psychosociaux. Le manque de temps et de ressources compétentes pour mener à bien une démarche d'évaluation des risques représentent une difficulté majeure pour le secteur. Cependant, la mise en œuvre d'actions de prévention est possible : mise en place de formations adaptées pour prévenir les risques liés à la mobilisation des personnes, mise à disposition des dispositifs d'aides à la manutention, promotion de la participation des salariés à la démarche de prévention...

M. Wersall (*Swedish Work Environment Authority* – Autorité suédoise

de l'environnement de travail, Suède) a présenté une initiative suédoise visant à sensibiliser sur la santé au travail des femmes et à prévenir le risque de TMS en vue de limiter le risque de désinsertion professionnelle. Différents facteurs peuvent expliquer pourquoi les femmes souffrent davantage de TMS que les hommes, par exemple : type de poste occupé, type de tâches réalisées, réponses physiologiques à la charge différentes de celles des hommes. Des actions spécifiques ont été menées auprès des employeurs afin de les aider à intégrer la dimension du genre dans leur modèle de gestion de la santé et de la sécurité au travail, et à prendre en compte les spécificités de chacun dans la mise en œuvre des actions de prévention pour améliorer la santé et la sécurité de tous.

Enfin, **S. Copsey** (EU-OSHA) termine cette session par une présentation des travaux de l'EU-OSHA concernant les effets sur la santé des postures assises prolongées, et plus spécifiquement de l'assise prolongée au travail. Présent dans de nombreux secteurs d'activités (bureaux, centres d'appel téléphonique, transport, lignes de production notamment), le maintien de la posture assise prolongée est un problème émergeant en Europe et est associé à de nombreux effets sur la santé : TMS, atteintes à la santé mentale, diabète de type 2, obésité, pathologies cardiovasculaires, augmentation de la mortalité cardiovasculaire et de la mortalité toutes causes confondues. La nécessité de mettre en place une organisation et un aménagement suscitant une alternance de postures et l'adoption de postures dynamiques est rappelée. Des exemples concrets ont été propo-

sés : conseils à l'employeur et aux salariés, conseils pour la conduite de véhicule et pour le télétravail, et importance d'encourager l'activité physique dès l'enfance.

CONCLUSION

H. Klema (EU-OSHA) a conclu cette conférence par quelques mots sur la campagne de prévention des TMS lancée pour 2020-2022. Les objectifs sont d'améliorer la connaissance, l'évaluation et la gestion du risque de TMS et de promouvoir le maintien en emploi des personnes souffrant de TMS. Ont été brièvement présentés les ressources disponibles sur le site internet de la campagne (<https://healthy-workplaces.eu>), telles que des publications (comme celles en lien avec les recherches présentées lors de cette conférence), les textes réglementaires, des outils variés ou encore les films Napo.

**COVID-19
UN RISQUE
PEUT EN MASQUER
UN AUTRE**

**Risques professionnels
Restons vigilants !**



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 graphique : Éva Minem - © INRS 2020 - AD 856

Pour en savoir plus :
www.inrs.fr



Polyexpositions, conditions de travail et santé

6^e journée de l'Institut Santé-Travail Paris-Est (IST-PE)

Conférence en ligne, 25 novembre 2020



EN RÉSUMÉ

AUTEURS :

L. Meissonnier-Cirille, D. Pariente, E. Peris, INRS

Le 25 novembre 2020 s'est tenue la 6^e journée de l'Institut Santé-Travail Paris-Est (IST-PE) portant sur la thématique « Polyexpositions, conditions de travail et santé ». Dans le contexte actuel où l'évaluation et la prévention des risques professionnels sont plutôt réalisées nuisance par nuisance, cette journée avait pour objectif de promouvoir une approche qui intègre les différentes nuisances. La problématique de la polyexposition est à la fois un défi scientifique pour le développement des connaissances sur ce sujet, notamment en termes d'effets sur la santé, et des moyens de mesure et un enjeu majeur de prévention des risques pour l'ensemble des acteurs de la santé et sécurité au travail.

MOTS CLÉS

Multi-exposition / Évaluation des risques / Risque chimique / Risque biologique / Produit chimique / Agent biologique / Conditions de travail / Trouble musculo-squelettique / TMS / Pathologie articulaire / Bruit / Audition / Ototoxicité

POLYEXPOSITIONS AU TRAVAIL : ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES EN FRANCE. QUELS SECTEURS D'ACTIVITÉ LES PLUS CONCERNÉS ?

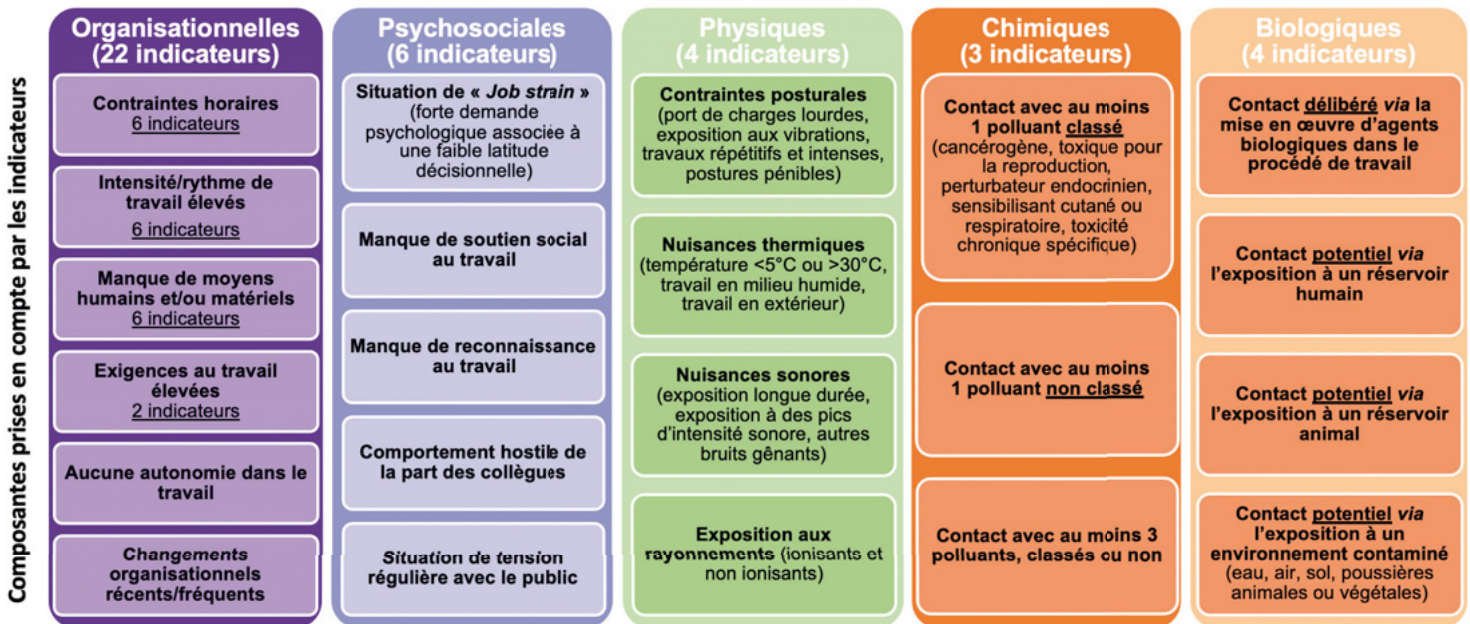
H. Bastos (*Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail-ANSES, Maison-Alfort*) a présenté une partie des résultats des travaux pilotés par l'ANSES dans le cadre du troisième Plan santé au travail (2016-2020). La problématique des polyexpositions y a fait l'objet d'une action spécifique faisant intervenir de nombreux partenaires institutionnels. La thématique concerne des nuisances de même nature (cocktails de produits chimiques) ou de natures différentes telles substances chimiques et facteurs physiques (sensibilisants cutanés et rayonnement UV par exemple), substances

chimiques et contraintes organisationnelles (horaires atypiques), substances chimiques et agents biologiques (qualité de l'air dans les hôpitaux par exemple). Les objectifs de ce groupe étaient de réaliser un état des lieux et permettre de connaître les secteurs concernés. Concernant le premier objectif, un travail de recensement des principales études, pratiques et orientations disponibles sur la question de la polyexposition a donné lieu à un rapport, disponible sur le site de l'agence. Concernant le deuxième objectif, un travail de construction d'indicateurs a été réalisé, se fondant sur les travaux de Santé Publique France (SPF) dans le cadre du projet Multi-Expo et des travaux antérieurs de la Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques (DARES) relatifs à l'exploitation des enquêtes Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels (SUMER). Sur la base de

Polyexpositions, conditions de travail et santé

6^e journée de l'IST-PE

TABLEAU I : INDICATEURS PRIS EN COMPTE POUR LA CONSTITUTION DE GROUPES DE TRAVAILLEURS POLYEXPOSÉS



39 indicateurs de l'enquête SUMER 2017, concernant 26 500 salariés représentatifs, informant sur les 5 classes de contraintes (organisationnelles, psychosociales, biologiques, physiques et chimiques) (tableau I), ont été dégagés des groupes homogènes de travailleurs polyexposés. Les premières constatations sont une prédominance des contraintes organisationnelles (95 % d'exposés) et psychosociales (89 %). Les contraintes physiques concernent 45 % des travailleurs, les contraintes chimiques plus d'un quart. La quasi-totalité des travailleurs subissent au moins 2 contraintes (97 %). En moyenne, ils sont exposés à 7 contraintes professionnelles. Les analyses conduites pour établir les groupes similaires d'exposition ont abouti à 12 profils (de A à L) qui seront détaillés dans un prochain rapport de l'ANSES. Le profil J a été davantage décrit afin de mettre en exergue la situation d'exposition aux 5 classes de contraintes dans les professions de la santé et des soins à la personne.

SESSION THÉMATIQUE « OUTILS DE L'ÉVALUATION DES POLYEXPOSITIONS »

MESURER LES POLYEXPOSITIONS : QUELS OUTILS ?

D. Vernez (Centre universitaire de médecine générale et de santé publique, Lausanne) a rappelé que les polyexpositions peuvent se présenter sous différentes formes : effet cocktail, expositions agrégées, coexpositions avec actions synergiques, cumul d'expositions dans le temps. Il a présenté deux familles d'outils qui peuvent être utilisés pour leur mesure.

Les outils mécanistiques permettent la mesure de la polyexposition ou d'un effet agrégé au moyen d'un marqueur. Ils sont fondés sur la connaissance du mécanisme toxique pour trouver un indicateur de polyexposition :

- la surveillance biologique permet la mesure de l'exposition dans l'organisme mais le nombre d'indi-

cateurs biologiques de référence est limité ;

- les indicateurs précoces d'effets (ou indicateurs de stress subi par l'organisme) tels le stress oxydatif (mesure d'une agression cellulaire par les espèces réactives de l'oxygène) et les micronoyaux (qui permettent la mesure du dommage au noyau cellulaire et concernent les polluants cancérogènes).

Les outils statistiques permettent une corrélation entre les variables d'entrée (exposition) et de sortie (effet). Parmi eux, l'approche multivariée consiste à mesurer simultanément plusieurs variables liées à l'exposition et/ou les effets précoces. La réponse est la combinaison (souvent linéaire) de plusieurs variables d'entrée. L'approche basée sur l'exposome, quant à elle, s'appuie sur la mise en relation des expositions subies par les individus avec les effets sur la santé. Elle présente de multiples variables d'entrée et de sortie (puissance de calcul) mais requiert des bases de données importantes. Ces outils, difficiles à mettre

en œuvre, sont sous-utilisés dans le domaine de la santé au travail. L'exploitation opérationnelle de ces approches nécessite le changement du paradigme réglementaire actuel construit sur l'hypothèse de l'exposition unique.

SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS : PERSPECTIVES DU PROGRAMME NATIONAL DE BIOSURVEILLANCE ET DES MATRICES

C. Fillol (Santé Publique France-SPF, Saint-Maurice) a présenté le programme national de biosurveillance et les programmes Matphyto et Matgéné.

Pour la biosurveillance, lors de 4 000 grossesses, 130 biomarqueurs d'exposition ont été étudiés. Les polluants organiques étaient présents chez près de la totalité des femmes enceintes. Les principales sources d'exposition étaient le tabac, les produits d'entretien et d'hygiène, les produits anti-puces, le linoléum, la peinture. L'étude Esteban, réalisée entre 2014 et 2016, avec des visites à domicile, autoquestionnaires, prélèvements biologiques (cheveux notamment), a montré une généralisation de la présence de bisphénols, d'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS), d'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et de phtalates. L'alimentation et les cosmétiques seraient en cause. Deux programmes de SPF ont été présentés.

Le programme Matphyto consiste en la construction de matrices par groupes de cultures agricoles, depuis les années 1960, avec les produits phytosanitaires utilisés, en tenant compte des lieux d'utilisation. Elles permettent des listes historisées des pesticides utilisés, par zones géographiques et types de cultures.

Le programme Matgéné développe des matrices emplois-expositions avec une approche par nuisance

ou famille de nuisances à partir de données spécifiquement françaises et également historisées.

EXPOSOME EN MILIEU PROFESSIONNEL

R. Garlantezec (Institut de recherche en santé, environnement et travail, Rennes) a présenté la notion d'exposome. Elle est liée à la volonté de comprendre la survenue des maladies et leur caractère multifactoriel. Cette notion a été introduite par C. Wild en 2005 : « *L'exposome englobe les expositions environnementales tout au long de la vie (y compris les facteurs liés au style de vie) à partir de la période prénatale* ». Cette définition est reprise par la loi de modernisation de la santé en 2016, qui décrit le concept d'exposome comme l'intégration sur la vie entière de l'ensemble des expositions qui peuvent influencer la santé humaine. Trois grandes dimensions caractérisent l'exposome :

- l'environnement interne, dont métabolisme, hormones endogènes, microbiote, marqueurs d'inflammation ;
- l'environnement spécifique externe, dont agents physiques, agents infectieux, agents chimiques, facteurs liés au style de vie (tabac, alcool) ;
- L'environnement général externe : éducation, facteurs psychosociaux, environnement urbain, changements climatiques, par exemple.

Le concept d'exposome est plus développé dans le milieu environnemental que professionnel. En milieu environnemental, de multiples études ont été réalisées. Ces études utilisent des approches méthodologiques diverses pour l'évaluation des expositions environnementales : questionnaires, biomarqueurs d'expositions... En milieu professionnel, peu d'études existent avec le concept de l'exposome (projet européen EPHOR). Les

études sont traditionnellement centrées sur une seule exposition entraînant une seule maladie. À travers cette intervention, R. Garlantezec soulève l'intérêt de l'exposome en milieu professionnel puisque les expositions professionnelles évoluent dans le temps avec l'apparition de nouveaux risques, la population des travailleurs évolue et les polyexpositions sont fréquentes.

Par ce concept, il est possible de travailler sur l'interrelation entre les expositions professionnelles sur l'ensemble de la vie au travail et comprendre au mieux les effets sur la santé et sur les modifications biologiques. Afin d'entreprendre ces études, une approche multidisciplinaire sera nécessaire (à l'aide d'ergonomes, hygiénistes, épidémiologistes, des sciences sociales, des bases de données massives ou encore de la bioinformatique). Par ailleurs, toutes ces approches exposomiques nécessitent des infrastructures importantes (cohortes prospectives, plateformes de recherche communes, biocollections, plateformes analytiques performantes). *In fine*, l'intérêt de ce concept est de mieux comprendre le lien entre les expositions (notamment au travail) et les paramètres de santé afin d'établir des stratégies préventives.

« EXPOSITION » : UN OBJET FRONTIÈRE POUR LA PLURIDISCIPLINARITÉ EN SANTÉ AU TRAVAIL

La présentation de **A. Garrigou (Université de Bordeaux)** a mis l'accent sur la convergence de différentes disciplines en lien avec les polyexpositions. En effet, la prévention des risques professionnels est partagée par de nombreux métiers. Par exemple, l'ergonomie est une discipline qui produit des connaissances sur les travailleurs dans leur

Polyexpositions, conditions de travail et santé

6^e journée de l'IST-PE

activité et sur leur santé. L'ergotoxicologie est un champ de l'ergonomie pour développer des pratiques de prévention lors d'exposition à des produits chimiques. Cette présentation a également permis d'évoquer la difficulté de définir l'exposition et a proposé de considérer les situations et conditions dans lesquelles les travailleurs, au cours de leur activité, sont exposés ou s'exposent à des dangers multiples. L'exposition est ainsi caractérisée par la durée, la fréquence, le niveau d'exposition, les mesures de prévention, l'efficacité réelle de ces mesures, la présence d'interaction entre différentes situations d'exposition à des dangers différents (par exemple, risque chimique et activité physique de travail), l'acceptation sociale des risques (par la société, l'entreprise, les collectifs de travail, les individus), la nature de l'activité (efforts physiques, conditions climatiques, types de contacts). La contribution des travailleurs est pertinente à l'identification de leurs expositions au regard de leur bonne connaissance de leur situation de travail.

SESSION THÉMATIQUE « POLYEXPOSITIONS ET SANTÉ »

COVID-19 : DÉTERMINANTS PROFESSIONNELS ET SOCIAUX LORS DE LA PREMIÈRE PHASE DE L'ÉPIDÉMIE

M. Telle-Lamberton (Observatoire régional de santé Île-de-France, Paris) a présenté des constats relatifs à l'épidémie de Covid-19 qui a frappé de façon inégale les populations (urbaines, rurales, personnes jeunes ou âgées) en Île-de-France. Sans qu'un lien de cause à effet ne

puisse être établi, l'intervenante a montré que :

- les familles nombreuses étaient plus touchées, la part des ménages qui ont 3 enfants ou plus étant superposable avec les zones de surmortalité ;
- la surface du logement est inversement proportionnelle à la surmortalité ;
- le nombre de pièces par personne est également inversement corrélé avec les zones de surmortalité ;
- les zones fortement urbanisées sont également des zones de surmortalité ;
- les zones de résidence des travailleurs clés sont également les lieux de surmortalité. Les travailleurs clés étaient ceux dont l'activité a été maintenue pendant le confinement. Il s'agissait des commerces alimentaires, des activités sanitaires, logistiques, des transports et de la police. La majorité de ces travailleurs utilise les transports en commun et 38 % d'entre eux n'habitent pas dans le département où ils travaillent en Île-de-France ;
- le Nord et Nord-Est de l'Île-de-France présentent une surreprésentation de patients en ALD en général, diabétiques en particulier, zones de surmortalité par Covid-19.

POLYEXPOSITIONS ET TMS : RÔLE DES FACTEURS BIOMÉCANIQUES, PSYCHOSOCIAUX ET ORGANISATIONNELS

Y. Roquelaure (Centre hospitalier universitaire, Angers) a présenté le rôle de la polyexposition dans l'apparition des troubles musculo-squelettiques (TMS). Le contexte de transformations du monde du travail entraîne une évolution dans les expositions professionnelles et ainsi un essor des pathologies de surcharge comme les TMS ou les risques psychosociaux (RPS). Ces transformations du milieu du tra-

vail sont liées, selon l'intervenante, aux évolutions démographiques, à l'allongement des carrières professionnelles, à la révolution technologique, à la mondialisation et la financiarisation de l'économie, à la tertiarisation de l'économie, aux modèles de gestion axés sur la performance et à la transformation des conditions de travail. À travers les recherches issues de divers champs disciplinaires, apparaissent des interrelations entre les facteurs organisationnels et psychosociaux au travail et les TMS. Les facteurs organisationnels apparaissent ainsi comme des éléments clés dans la compréhension et la prévention des TMS en influençant les conditions de réalisation du travail : caractéristiques biomécaniques, psychosociales, environnementales. Les composantes psychosociales, tout autant que les composantes biomécaniques, doivent donc être intégrées à la prévention des TMS afin de mettre en œuvre des interventions globales et efficaces. Le modèle biopsychosocial d'apparition des TMS s'intéresse donc à la polyexposition à des facteurs biomécaniques et des facteurs de RPS, en lien avec leurs déterminants liés à l'organisation du travail et aux pratiques managériales.

CO-EXPOSITION BRUIT/ PRODUITS CHIMIQUES: QUELS SONT LES RISQUES POUR L'AUDITION ?

B. Pouyatos (Institut national de recherche et de sécurité-INRS) a présenté les aspects de polyexpositions concernant le risque auditif. Le bruit est un danger complexe et ubiquitaire. Le risque auditif lié au bruit dépend de nombreux paramètres : la dose journalière, le niveau de crête, la composition en fréquence du bruit, son caractère impulsionnel. Concernant son intensité, il n'y a pas de risque lié

au bruit en-dessous de 80 dB. Au-dessus de 110 dB, des structures de la cochlée peuvent être lésées : les stéréocils peuvent alors présenter des dommages qui seront irréversibles. Le réflexe stapédien, mécanisme de protection qui fait baisser de 15 à 20 dB l'intensité du son (ce qui n'est parfois pas suffisant) est trop lent (entre 10 et 35 ms) pour protéger d'un bruit soudain : en conséquence, un bruit impulsionnel s'avère plus traumatisant qu'un bruit continu à énergie équivalente. Entre 80 et 110 dB, les dommages cochléaires sont plutôt d'origine métabolique. Le stress oxydant généré par le bruit provoque une fatigue auditive qui est généralement réversible, mais cela prend du temps (plus de 10 heures). Si ce temps de récupération n'est pas ménagé avant une nouvelle exposition, ou si la fatigue se répète jour après jour pendant une longue période, les pertes peuvent devenir définitives.

Par ailleurs, près de 600 médicaments ont des effets ototoxiques. Les aminosides et les anticancéreux à base de platine sont très ototoxiques dans les fréquences aiguës. D'autres produits chimiques sont des ototoxiques avérés, tels que le plomb, le mercure et l'arsenic. D'autres métaux sont des ototoxiques possibles : cadmium, manganèse, dioxyde de germanium, cobalt et triméthylétain. Certains solvants aromatiques sont également ototoxiques.

L'exposition aux agents ototoxiques et au bruit est une situation courante. Il a été montré chez le rat que le styrène et le bruit agissaient en synergie. Ce type de phénomènes est complexe à étudier chez l'homme. L'intervenant a particulièrement insisté sur l'importance d'être vigilant quant aux médicaments ototoxiques, dont la toxicité perdure bien après l'exposition (le

cisplatine persiste indéfiniment dans la cochlée).

En termes de prévention, l'intervenant a conclu sur la nécessité de mettre en œuvre une démarche de prévention stricte et particulièrement rigoureuse en matière de bruit et de risque chimique lors d'une exposition combinée, en s'appuyant sur les travaux de l'INRS à ce sujet, et de fournir des équipements de protection individuelle si nécessaire. Le port des protections auditives est alors souhaitable à partir de 80 dB(A). En matière de surveillance de l'exposition, plusieurs études montrent l'augmentation de l'imprégnation à certains solvants lors d'une activité à charge physique élevée, renforçant l'intérêt d'une stratégie de surveillance biologique des expositions professionnelles dans ce cas.

POLYEXPOSITIONS ET CONDITIONS DE TRAVAIL, L'APPROCHE DU RÉSEAU ANACT-ARACT*

** Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail/Agences régionales pour l'amélioration des conditions de travail*

P. Issartelle (Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail-ANACT, Lyon) a évoqué la nécessité d'une approche des polyexpositions par la prise en compte de plusieurs paramètres tels que l'analyse du travail des salariés, l'échange avec le médecin du travail pour connaître les effets potentiels sur la santé et l'échange avec le salarié pour qu'il exprime son ressenti et les éventuels signaux avant-coureurs de pathologies. Cette approche de la prévention par la connaissance des conditions de travail des salariés est différente de l'approche par risque, qui analyse finement chaque risque (métrologie, questionnaire...). Elle met en évidence les effets indépendamment des seuils (par exemple, surdité et utilisation de solvant-dégraissant et non liée au niveau sonore). Ont été présentés par l'orateur :

- les questions émergentes concernant les nouveaux lieux de réalisation de l'activité et les nouvelles expositions potentielles (domicile, espaces de travail partagés-coworking...);
- l'intérêt de l'exercice en télétravail qui ouvre de nouveaux déterminants, notamment en période de confinement (qualité de l'air au sein du domicile, ergonomie des équipements, notion de « surtravail » ;
- les moyens à mettre en place pour mesurer ces expositions ;
- un questionnement sur les liens entre les seuils applicables aux activités réalisées en entreprise et les mesures éventuellement réalisées au domicile ;
- l'enjeu d'un dialogue plus poussé « santé publique-santé au travail ». L'importance d'associer les différents acteurs de la prévention, la hiérarchie, la direction, les partenaires sociaux, et l'utilité des services de santé au travail qui rendent visibles les expositions pour construire une politique de prévention partagée ont particulièrement été soulignées.

TABLE RONDE « POLYEXPOSITIONS ET CONDITIONS DE TRAVAIL, COMMENT ORGANISER LA PRÉVENTION ? »

M. Loizeau (Association paritaire de santé au travail du Bâtiment et des travaux publics de la région parisienne), M. Brun (réseau Prévention et Santé au travail-Présance, Paris), P.G. Loréal (Confédération française démocratique du travail-CFDT, Paris), P. Duprat (Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi-DIRECCTE Île-de-France) et P. Issartelle (ANACT, Lyon) sont intervenus successivement pour établir les facteurs de

Polyexpositions, conditions de travail et santé6^e journée de l'IST-PE

réussite de la prévention des polyexpositions.

La place privilégiée du service de santé au travail, notamment du médecin du travail, pour accompagner les entreprises dans l'identification, l'évaluation et la mise en place d'actions de prévention a été rappelée. Cette possibilité d'alerte et de conseils est fondée sur leur expertise et les actions en milieu de travail, combinées aux connaissances acquises dans le cadre de la surveillance individuelle de l'état de santé des travailleurs. L'ensemble des données devrait être tracé dans les dossiers individuels et les dossiers d'entreprise. La continuité de la traçabilité devrait pouvoir être assurée par les systèmes d'information (logiciels de santé au travail notamment) et, à l'avenir peut-être, par le dossier médical partagé. De plus, les services de santé au travail, par leur appréhension spécifique de la question des polyexpositions sur le terrain, contribuent à l'amélioration des connaissances sur ce sujet (participation aux enquêtes SUMER par exemple). Par ailleurs, certaines situations de polyexposition concernent également des facteurs environnementaux ou des facteurs de stress, liés aux transports par exemple, qui interrogent sur le périmètre d'action des services de santé au travail et l'approche globale de la prévention des polyexpositions en tant que problématique de santé publique. La participation à la gestion des risques professionnels par les salariés eux-mêmes et par les représentants du personnel a été fortement encouragée. Enfin, les intervenants se sont montrés unanimes sur la nécessité de raisonner en intégrant l'ensemble des dangers et en abandonnant l'analyse habituelle, risque par risque.

La rougeole

AUTEURS :

L. Meissonnier-Cirille, interne en santé au travail

M. Bouselham, D. Abiteboul : Département Études et assistance médicales, INRS

EN RÉSUMÉ

La rougeole est une infection virale parmi les plus contagieuses, aux complications graves, parfois mortelles, notamment chez les sujets non vaccinés à risque (immunodéprimés, femmes enceintes...). Un vaccin efficace existe mais une couverture vaccinale élevée est indispensable pour l'éliminer. Le virus continue à circuler en France, responsable d'épidémies du fait notamment d'une couverture vaccinale insuffisante. En milieu de travail, les secteurs des soins et de la petite enfance sont les plus concernés par la problématique de la rougeole. L'information concernant la maladie et sa prévention par la vaccination est primordiale car de nombreux professionnels de ces secteurs méconnaissent la gravité potentielle de cette maladie.

MOTS CLÉS

Agent biologique /
Risque biologique /
Vaccination /
Grossesse /
Femme enceinte
Conduite à tenir /
Évaluation des
risques / Maladie
infectieuse

La rougeole, trop souvent considérée comme maladie bénigne de l'enfance, peut s'avérer redoutable. Elle est potentiellement mortelle, peut survenir à tout âge et entraîner de graves complications, avec un risque accru chez les nourrissons, les adultes et les personnes immunodéprimées. Il s'agit d'une infection virale extrêmement contagieuse qui pourrait être éradiquée grâce à une couverture vaccinale suffisante de la population. Pour atteindre l'objectif d'élimination de la rougeole, un plan national a été lancé en France en 2005 inscrivant à nouveau la rougeole comme maladie à déclaration obligatoire pour en améliorer la surveillance et fixant l'objectif d'une couverture vaccinale de 95 % à l'âge de 2 ans [1]. En dépit de la généralisation de la vaccination ROR (rougeole, oreillons, rubéole) en France depuis plus de 30 ans, des pics épidémiques sont rapportés depuis 2008 chez des personnes non ou mal vaccinées, notamment de jeunes adultes. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) partage l'objectif de l'élimination de la rougeole pour la région européenne dans son Plan d'action européen pour les vaccins 2015-2020 [2].

En milieu du travail, les professionnels les plus concernés (santé, petite enfance) méconnaissent

parfois la gravité potentielle de cette maladie tant pour eux-mêmes que pour ceux dont ils ont la charge (patients, très jeunes enfants non encore vaccinés).

Cet article fait le point notamment sur la maladie, la nécessité d'améliorer la couverture vaccinale et les mesures de prévention à adopter en milieu de travail, y compris la conduite à tenir autour d'un cas.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE LA ROUGEOLE

LE VIRUS DE LA ROUGEOLE

Il s'agit d'un virus à ARN enveloppé, du genre *Morbillivirus* dont le réservoir est strictement humain. C'est l'un des virus les plus contagieux, avec un taux de reproduction R_0 d'environ 15 à 20 : un malade peut donc contaminer jusqu'à 20 personnes.

La transmission se fait essentiellement par l'intermédiaire de gouttelettes provenant des voies aériennes supérieures. Elles sont générées lors de la toux, les éternuements ou la parole d'une personne infectée et se déposent sur les muqueuses nasales, pharyngées ou conjonctivales. Elle peut également survenir par l'inhalation d'aérosols contaminés (cas documentés de conta-

minations survenues dans des endroits clos jusqu'à 2 heures après le départ du patient source). Plus rarement, une transmission par contact avec des mains souillées ou des surfaces contaminées par des sécrétions oropharyngées peut avoir lieu [3].

ÉPIDÉMIOLOGIE

La rougeole demeure dans le monde l'un des grands fléaux infectieux.

Grâce à la vaccination antirougeoleuse, le nombre de décès à l'échelle mondiale avait diminué de 84 % entre 2000 et 2016 [4]. Pourtant, d'après les estimations de l'OMS, les décès dus à la rougeole ont augmenté de 50 % dans le monde depuis 2016, pour atteindre 207 500 morts en 2019 [5]. Toutes les régions du monde assistent à une véritable résurgence de la rougeole liée à un faible taux de couverture vaccinale. Les pays les plus sévèrement touchés sont ceux où les conditions d'accès aux infrastructures sanitaires sont défectueuses. Dans ces populations, les enfants sont les plus touchés.

En France, la vaccination instaurée en 1983 dans le calendrier vaccinal a permis une baisse significative des cas de rougeole (de près de 300 000 cas par an déclarés en 1985 [6] à moins de 50 cas annuels déclarés en 2007 [7]). Malgré cette baisse initiale, près de 30 000 cas de rougeole, ayant entraîné 26 décès, ont été déclarés entre le 1^{er} janvier 2008 et le 30 septembre 2019, conséquence d'une couverture vaccinale insuffisante. Cette période est entrecoupée de pics épidémiques (environ 15 000 cas sont déclarés en 2011) et de périodes d'accalmies [8]. Une nouvelle épidémie, apparue depuis le dernier trimestre 2017, sévit encore

aujourd'hui. Pour l'année 2019, plus de 2 600 cas de rougeole ont été notifiés dont deux décès (deux jeunes adultes immunodéprimés) témoignant d'une circulation toujours active du virus. Plus de 50 % des cas répertoriés ont plus de 15 ans. Environ 87 % des cas sont survenus chez des sujets non ou mal vaccinés.

La France est le pays européen ayant notifié le plus de cas de rougeole à l'*European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) en 2019 [9] (figure 1 page suivante).

La population de jeunes adultes constitue un réservoir de sujets réceptifs suffisant pour maintenir la transmission du virus. Une étude a été réalisée en 2013 portant sur les données de séroprévalence chez les donneurs de sang de 18 à 32 ans (nés entre 1980 et 1995 [10]). Les résultats montrent que 9 % sont réceptifs : en appliquant ce taux à la population générale, cela signifie qu'il existe en France environ un million de sujets âgés de 18 à 32 ans restant susceptibles de déclarer une rougeole, bien que ciblés par une politique de rattrapage vaccinal (cf. *Vaccination* p. 113).

Depuis la mise en œuvre en 2018 de la vaccination obligatoire par 2 doses de vaccin contre la rougeole chez les nourrissons avant l'âge de 2 ans (articles L.3111-1 à L.3111-11 du Code de la Santé publique), la couverture vaccinale a significativement augmenté (87 % pour la première dose de vaccin chez les enfants de 12 mois en 2018), ce qui devrait, à terme, aider à atteindre un taux de 95 %, nécessaire à l'interruption de la circulation du virus de la rougeole [11]. Cependant, avec la pandémie de COVID-19, une baisse importante de la couverture vaccinale est constatée [12].

MANIFESTATIONS CLINIQUES

La présentation clinique de la rougeole se déroule classiquement en quatre phases : incubation, invasion, éruption et desquamation.

La période d'incubation du virus est de 7 à 18 jours (en moyenne 10 jours) et elle est asymptomatique.

La phase d'invasion (2 à 4 jours) est caractérisée par des atteintes non spécifiques (fièvre, asthénie, cataracte oculo-respiratoire, conjonctivite, toux...).

Le signe pathognomonique de Köplik (papule érythémateuse à centre blanc-bleuâtre qui parsème la muqueuse buccale) est instable et disparaît généralement avec le début de l'exanthème.

L'éruption cutanée débute deux semaines après le contact, au niveau de la tête et du visage. Son extension est descendante : cou, épaules, tronc et membres supérieurs, puis abdomen, cuisses et généralisation en 3 à 4 jours. Il s'agit d'un exanthème maculo-papuleux avec des espaces de peau saine, non prurigineux qui se présente en une seule poussée [3, 13]. Le patient peut transmettre le virus de 3 à 5 jours avant à 5 jours après le début de l'éruption.

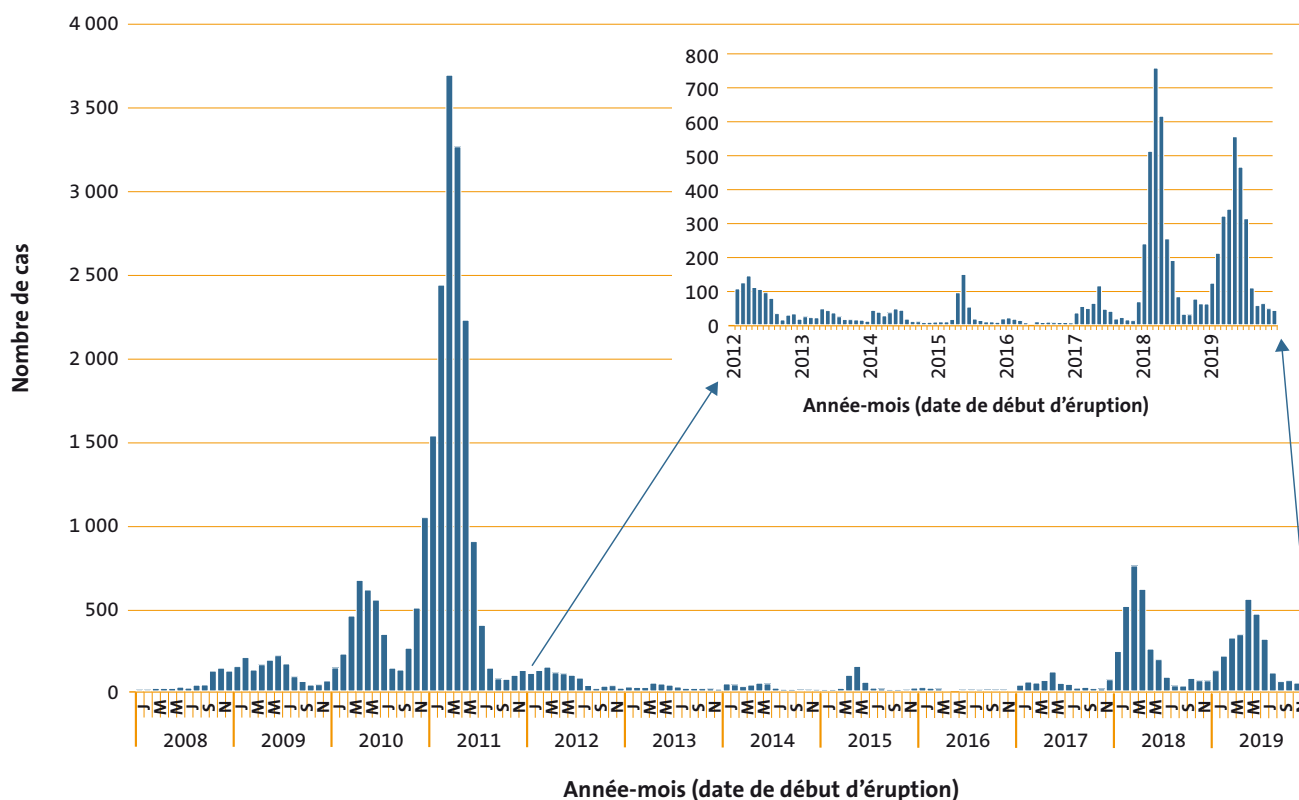
ÉVOLUTION

La rougeole est une maladie spontanément résolutive dans la majorité des cas. L'infection confère une immunité durable. Cependant, le virus de la rougeole peut entraîner des complications dans environ 30 % des cas.

Les complications les plus sévères sont plus fréquentes chez les nourrissons de moins d'un an et les adultes de plus de vingt ans. Parmi ces derniers, les personnes présentant une immunodépression sont particulièrement fragiles.

↓ Figure 1

➤ DISTRIBUTION DU NOMBRE DE CAS DE ROUGEOLE DÉCLARÉS PAR MOIS DU 1^{er} JANVIER 2008 AU 31 DÉCEMBRE 2019, FRANCE ENTIÈRE [D'APRÈS 8]



Source : Santé Publique France, déclarations obligatoires

Il existe des complications bénignes (otite moyenne aiguë, kératoconjonctivite, laryngite, diarrhée...) principalement liées à une surinfection et/ou des complications plus graves potentiellement létales. Les complications pulmonaires peuvent également être liées au virus lui-même [3]. Trois complications rares mais graves de la rougeole touchent le système nerveux central :

- l'encéphalite aiguë disséminée post-éruptive (1 cas pour 1 000) est une affection démyélinisante auto-immune déclenchée par le virus de la rougeole et apparaissant quelques jours ou semaines après

le rash. Sa létalité est de l'ordre de 10 % et le taux de séquelles de 20 à 40 % ;

- l'encéphalite à inclusion, survenant chez l'immunodéprimé 1 à 6 mois après l'infection. Elle est liée à une infection directe du cerveau, aboutissant à une détérioration neurologique et au décès ;
- la panencéphalite subaiguë sclérosante (PESS) survient en moyenne 4 à 10 ans après l'épisode aigu. Elle complique 1 rougeole sur 10 000 chez les moins de 12 mois et 1 sur 100 000 chez les plus de 5 ans. Elle s'exprime par des myoclonies, une dégradation cognitive et motrice et le décès [13].

GROSSESSE

La rougeole durant la grossesse expose à un risque maternel de complications pulmonaires, d'hospitalisation, voire de décès. En l'état actuel des connaissances, le virus de la rougeole n'est pas tératogène mais peut entraîner des anomalies (avortements spontanés, petit poids de naissance [13]) ou une mort fœtale par altération de la circulation placentaire ainsi que des accouchements prématurés. Lorsqu'une femme présente une rougeole autour de la période de l'accouchement, le nouveau-né présente habituellement une rougeole congénitale (éruption

La rougeole

1. Le kit salivaire permet un frottis gingival. L'échantillon, prélevé à l'aide d'un écouvillon en mousse que l'on passe dans le sillon gingivo-jugal, permet la recherche de l'ARN viral par PCR et celle des anticorps IgM et IgG spécifiques. L'écouvillon, placé dans un tube en plastique fermé et conservé à température ambiante, est posté dans une enveloppe préaffranchie à l'adresse du Centre national de référence (CNR) où sont réalisés les tests.

présente à la naissance) ou post-natale (éruption dans les 10 jours suivant la naissance) qui peut être grave et exposer à un risque majoré de PESS [14].

DIAGNOSTIC

Le diagnostic est clinique : la recherche d'un contagion est essentielle. Il doit néanmoins être confirmé par un diagnostic biologique nécessaire à la surveillance épidémiologique, sauf quand le cas a un lien épidémiologique avec un cas confirmé ou qu'il s'agit de cas groupés de rougeole dans une collectivité pour lesquels au moins un cas a été confirmé biologiquement [15].

La confirmation biologique de la rougeole repose :

- sur les techniques directes de détection du virus de la rougeole par RT-PCR (*Reverse transcriptase polymerase chain reaction*) à partir d'échantillons de liquide buccal (« kit salivaire »⁽¹⁾), respiratoires (aspiration nasale, écouvillonnage rhino-pharyngé), d'urines et de sang total prélevé pendant la période virémique ;
- sur le diagnostic indirect par la recherche d'anticorps anti-rougeoleux dans le sérum ou le liquide buccal (« kit salivaire »).

Les anticorps IgM apparaissent dans la salive à peu près en même temps que dans le sang, 2 à 3 jours après

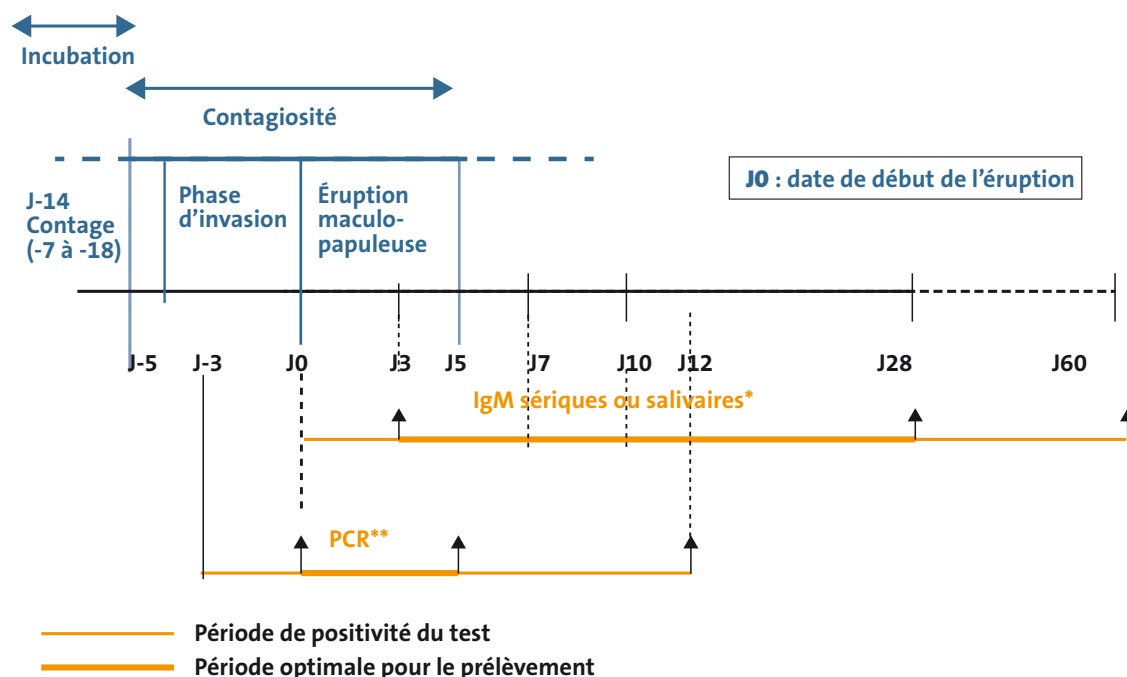
l'éruption. La technique ELISA (*Enzyme-linked immunosorbant assay*) est la plus accessible et permet la détection des IgM à partir de 2 à 3 jours après l'éruption cutanée (figure 2). Les anticorps IgG apparaissent de façon concomitante aux IgM ou avec un décalage de quelques jours. Le « kit salivaire » a été conçu dans le cadre du plan d'élimination de la rougeole. Les kits sont distribués par les agences régionales de santé (ARS), et les tests sont réalisés par le Centre national de référence (CNR) de la rougeole [15, 16].

TRAITEMENT

Il n'existe pas de traitement spécifique de la maladie rougeoleuse.

↓ Figure 2

➤ ÉVOLUTION CLINIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA ROUGEOLE (d'après [15])



* Les anticorps IgM peuvent être détectés depuis l'apparition de l'éruption jusqu'à environ 60 jours après ; ils sont le plus souvent positifs entre +J3 et +J28 dans la salive et le sérum.

** L'ARN viral peut être détecté dans la salive, le nez, la gorge et l'urine d'environ J-5/J-3 à +J10/J12. La période de détection optimale dans la sang, la salive, le nez ou la gorge s'étend de l'apparition de l'éruption à +J5.

Seuls les symptômes et les complications seront traités, d'où l'importance de mettre en place des actions de prévention.

PRÉVENTION : LA VACCINATION ANTIROUGEOLEUSE

La prévention primaire de la rougeole repose sur la vaccination.

Le vaccin antirougeoleux est un vaccin trivalent associé aux valences rubéole et oreillons (ROR : rougeole-oreillons-rubéole). Il s'agit d'un vaccin vivant atténué.

Des réactions locales peuvent apparaître après l'injection et une fièvre avec une éruption cutanée peut survenir du 5^e au 12^e jour après la vaccination. Les réactions allergiques sont très rares. Par ailleurs, aucune association avec l'autisme n'a été confirmée [12].

En raison de son caractère vivant atténué, ce vaccin est contre-indiqué pendant la grossesse et chez les personnes immunodéprimées. Concernant la femme enceinte, les études menées chez celles vaccinées accidentellement juste avant ou pendant une grossesse ne concluent pas en faveur d'une interruption de grossesse. Par ailleurs, toute grossesse doit être évitée dans le mois qui suit l'administration du vaccin [17].

Le vaccin ROR n'est pas contre-indiqué chez la femme qui allaite. Certes le virus vaccinal de la rougeole est susceptible de passer dans le lait, cependant aucun événement particulier n'a été signalé à ce jour parmi une centaine d'enfants allaités par des mères ayant reçu un vaccin contre la rougeole. Par ailleurs, il existe un recul d'usage très important du vaccin trivalent dans le post-partum immédiat chez les femmes non immunisées contre la rubéole. Au

vu de ces éléments, la vaccination contre la rougeole peut être réalisée chez une femme qui allaite [18].

IMMUNITÉ VACCINALE

L'immunité est acquise dans les 4 jours suivant la vaccination, avec un taux de séroconversion de 90 % après une dose de vaccin, ce qui implique un schéma vaccinal à 2 doses, la deuxième dose étant un rattrapage et non un rappel. Elle est de longue durée (> 20 ans), même après disparition des anticorps sériques mesurables. Néanmoins, des cas peuvent survenir après 2 doses (12,9 % des cas déclarés en France entre 2011 et 2018 avaient reçu 2 doses de vaccin ROR) [1].

Il y a plusieurs techniques pour mesurer les anticorps contre le virus de la rougeole, cependant toutes ne mesurent pas des anticorps fonctionnels ou protecteurs. Le titrage des anticorps contre le virus de la rougeole par test de séro-neutralisation est le plus corrélé à la protection contre l'infection et reste le *gold standard* pour mesurer les titres d'anticorps protecteurs. Toutefois, cette technique n'est pas utilisée en routine du fait de sa complexité et de son coût.

Ce sont les tests immuno-enzymatiques de type ELISA qui sont couramment utilisés pour mesurer les anticorps IgG. Or, la plupart des anticorps détectés avec cette technique ne sont pas des anticorps protecteurs. Des faux-positifs liés à des réactions croisées (autres infections, notamment à Parvovirus B19...) peuvent survenir. Par ailleurs, les différents kits ELISA ont des sources différentes et des concentrations en antigènes différentes et les seuils de protection clinique avec ces tech-

niques ne sont pas standardisés [19].

RECOMMANDATIONS VACCINALES EN FRANCE

Depuis l'introduction du vaccin trivalent, le schéma vaccinal a subi diverses modifications, passant notamment d'une à deux doses. Cette vaccination est devenue obligatoire pour tous les enfants nés à partir du 1^{er} janvier 2018 (articles L. 3111-1 à L. 3111-11 du Code de la Santé publique). La première dose est administrée à 12 mois et la seconde entre 16 et 18 mois.

Les personnes nées depuis 1980 devraient avoir reçu au total deux doses de vaccin trivalent (délai minimum d'un mois entre les deux doses), ceux nés avant 1980 ayant une forte probabilité d'être immunisés naturellement. Des antécédents vis-à-vis d'une des trois maladies ne contre-indiquent pas le vaccin. D'une part, en effet, le fait d'avoir présenté l'une de ces maladies ne protège pas contre les deux autres et, d'autre part, administrer un vaccin vivant atténué à une personne déjà immunisée ne présente aucun inconvénient (le virus vaccinal sera simplement inactivé par les anticorps préexistants) [17].

Les recommandations vaccinales concernant les professionnels exposés au risque de rougeole sont discutées dans le chapitre suivant (cf. *En milieu de travail* p. 114).

L'insuffisance de la couverture vaccinale vis-à-vis de la rougeole en France peut s'expliquer par les réticences à la vaccination. En effet, l'hésitation vaccinale est, selon l'OMS, l'un des dix plus grands dangers pour la santé de l'humanité en 2019 [20]. L'étude Baromètre Santé de 2016 rend compte d'une prévalence d'hési-

tation vaccinale de 46 % dans le groupe des parents d'enfants âgés d'un à quinze ans [21]. Trois facteurs seraient à l'origine de cette hésitation vaccinale : l'impression que la maladie est rare et donc la vaccination inutile, le manque de confiance dans les institutions et l'accessibilité.

Une étude qualitative menée par santé publique France [22] montre l'existence d'un faible niveau de connaissance générale des vaccinations.

EN MILIEU DE TRAVAIL

ÉPIDÉMIOLOGIE

Certaines professions sont à risque accru de contracter et de transmettre la rougeole tels les professionnels de santé et les personnels de la petite enfance. Deux études menées aux États-Unis lors de la survenue de cas de rougeole ont constaté un taux de contamination des professionnels de santé non immuns 13 à 19 fois supérieur à celui de la population générale [3, 23]. Pendant l'épidémie de 2008-2011, 85 épisodes de transmissions nosocomiales de rougeole en France impliquaient, dans 75 % des cas, des personnels de santé [24]. Entre 2011 et 2018 [3], 65 épisodes de rougeole nosocomiale ont été signalés, particulièrement aux urgences et en pédiatrie. Parmi ces épisodes, 23 correspondaient à des cas groupés, dont 83 % concernaient le personnel de santé [1].

En 2019, Santé publique France rapporte une couverture vaccinale anti rougeoleuse estimée à 73 % chez les professionnels de santé des établissements de santé en France. Elle a augmenté de 23 points par rapport aux estima-

tions de 2009 [25]. L'estimation de 2019 révèle que 15 % des professionnels de santé dans les établissements de santé sont à vacciner contre la rougeole [26].

Malgré une tendance à la baisse depuis 2009, le meilleur taux de vaccination se trouve chez les sages-femmes (couverture vaccinale à 82 % contre 92,7 % en 2009). Une tendance à l'augmentation est décrite pour les médecins (78 % contre 67 % en 2009), les infirmiers (73 % contre 42 % en 2009) et les aides-soignants (72 % contre 55 % en 2009). Les services de gynécologie-obstétrique ont le taux de couverture vaccinale le plus élevé (82 %), suivis par ceux accueillant des personnes particulièrement à risque (78 % pour les services de réanimation, hématologie...), des services de médecine chirurgie adulte (75 %) et des services de pédiatrie (67 %). Plus de 70 % des professionnels de santé se déclarent « *très favorables* » ou « *plutôt favorables* » à l'obligation vaccinale contre la rougeole pour leur profession [26].

En dehors du milieu hospitalier, des cas d'épidémies de rougeole ont été déclarés dans des collectivités accueillant de jeunes enfants. C'est le cas en Seine-Saint-Denis en 2018 : deux associations, une école élémentaire privée confessionnelle et une crèche publique. Au total 20 cas ont été déclarés, âgés de 4 mois à 5 ans. Parmi les 14 cas âgés de plus de 18 mois, aucun n'avait reçu les deux doses de vaccin recommandées. Les enquêtes réalisées auprès des familles de ces enfants ont mis en évidence une réticence à la vaccination prophylactique des autres enfants des fratries. En conséquence, des cas intrafamiliaux secondaires sont survenus

et ont contribué à la formation de chaînes de transmission [27].

MESURES DE PRÉVENTION

L'objectif des mesures de prévention est d'éviter la survenue de la maladie chez les personnes exposées (appelées personnes "contacts") et la diffusion de la maladie. Elles doivent être intégrées le plus précocement possible, par des mesures d'organisation du travail, de protection collective et individuelle, ainsi que d'information et de formation du personnel, adaptées à l'activité professionnelle considérée.

INFORMATION ET FORMATION DU PERSONNEL

La première étape de la prévention est l'information des salariés sur les risques encourus à leur poste et sur les moyens de s'en protéger (hygiène, protection collective et individuelle).

Cette information des salariés, et notamment des personnels de santé, est primordiale et peut concerner le rappel de l'histoire de maladies disparues grâce à la vaccination, le renforcement de la communication autour de la recrudescence des cas de rougeole en France, l'efficacité du vaccin, l'explication de la balance bénéfices/risques des vaccins.

Ces messages doivent être intégrés dans la formation médicale continue des professionnels de santé et de la petite enfance. Des documents destinés aux médecins ont été mis à disposition par santé publique France [28].

VACCINATION

Importance de la vaccination en milieu de travail

La vaccination, en milieu de travail est destinée à renforcer la protec-

tion du salarié mais elle ne saurait remplacer les mesures de protection collectives et individuelles prises en amont et visant à réduire l'exposition et à protéger le travailleur.

Le but de la vaccination est double : protéger le personnel du risque de contracter une maladie pendant son travail, mais aussi l'empêcher de transmettre la maladie.

Les professionnels de santé, le personnel en crèche sont considérés à risque et devraient être davantage sensibilisés à la nécessité de se faire vacciner.

S'agissant d'un acte médical, c'est au médecin du travail de proposer à l'employeur de recommander une vaccination (art. R. 4426-6 du Code du travail).

Aucune vaccination ne peut être pratiquée sans l'accord explicite du travailleur. Après information par le médecin du travail sur les risques encourus au poste de travail, sur les avantages et les limites de la vaccination et sur ses éventuels inconvénients, le salarié conserve le libre choix d'être vacciné ou pas, ainsi que le choix du médecin qui va procéder à la vaccination (médecin traitant, médecin du travail...).

Recommandations

Comme en population générale, il est recommandé de mettre à jour le statut vaccinal avec 2 doses de vaccin trivalent (rougeole-oreillons-rubéole) pour toute personne née après 1980, en respectant un délai minimum d'un mois entre les deux doses, quels que soient les antécédents vis-à-vis des trois maladies.

Pour les professionnels de santé et de la petite enfance nés avant 1980, non vaccinés, sans antécédent de rougeole ou de rubéole (ou dont l'histoire est douteuse), une

dose de vaccin trivalent est recommandée, que ce soit en formation, à l'embauche ou en poste, en priorité dans les services accueillant des sujets à risque de rougeole grave. La vaccination doit être pratiquée sans qu'un contrôle sérologique préalable soit réalisé [17].

La vaccination contre la rougeole et la rubéole est contre-indiquée pendant la grossesse. Il faut donc s'assurer de l'absence de grossesse débutante et éviter toute grossesse dans le mois suivant la vaccination. Le vaccin trivalent est par ailleurs recommandé en prophylaxie en cas de contact avec un cas de rougeole.

CONDUITE À TENIR AUTOUR D'UN CAS DE ROUGEOLE

Il y a exposition lorsqu'un sujet a été en contact (y compris de façon indirecte s'il s'agit de locaux confinés) avec une personne infectée depuis la veille de l'apparition des premiers symptômes (3 à 5 jours avant l'éruption) et jusqu'à 5 jours après le début de l'éruption.

Les principales professions concernées sont les services de soins hospitaliers et les professions en contact fréquent et rapproché avec des communautés infantiles (crèches, garderies, écoles...) mais la situation peut également se présenter, en période épidémique, dans tout milieu de travail.

La conduite à tenir immédiate consiste à s'assurer de l'isolement rapide du cas source (précautions « air ») en milieu de soins [29] ([encadré page suivante \[30\]](#)) ou de son éviction [31] et à évaluer le risque de transmission secondaire tout particulièrement à des personnes à risque, immunodéprimés ou nourrissons, dans l'entourage d'un sujet exposé.

Un signalement doit être fait immédiatement par tout moyen

approprié, car la rougeole est une maladie à déclaration obligatoire. Il sera suivi par l'envoi de la fiche de notification sur laquelle le médecin déclarant aura complété la description du cas (maladie à déclaration obligatoire [32]).

L'évaluation individuelle des risques portera sur les caractéristiques de l'exposition (transmission avant tout au contact des muqueuses du visage et par voie respiratoire pendant la période de contagiosité du cas source, ou encore par contact d'une surface contaminée) [3] mais dépendra également des caractéristiques du sujet exposé (il n'y a pas de risque en cas d'immunité antérieurement acquise par infection naturelle ou risque faible après vaccination complète : quelques cas décrits cependant après 2 doses) [1].

La prise en charge du sujet exposé réceptif (absence d'antécédents documentés de rougeole ou de deux doses de vaccin) repose sur la mise en place de mesures prophylactiques.

En l'absence de contre-indication, il est recommandé l'administration d'une dose de vaccin trivalent à toutes les personnes susceptibles d'être ou d'avoir été exposées pour lesquelles il n'existe pas de preuve de rougeole antérieure ou qui n'ont pas reçu auparavant 2 doses de vaccin, quel que soit leur âge. Cette vaccination, si elle est réalisée dans les 72 heures qui suivent un contact avec un cas, peut éviter la survenue de la maladie [33]. La mise à jour du statut vaccinal reste préconisée même si ce délai est dépassé.

Pour les personnes réceptives à risque de rougeole grave (personnes immunodéprimées, femmes enceintes) ne pouvant être vaccinées, une prophylaxie

La rougeole

↓ Encadré

> FICHE PRÉCAUTIONS COMPLÉMENTAIRES « AIR ». ÉDITIONS INRS, ED 6362 [30]

PRÉVENTION DE LA TRANSMISSION DES INFECTIONS EN MILIEU DE SOINS



PRÉCAUTIONS STANDARD

PRÉCAUTIONS COMPLÉMENTAIRES « AIR »

PRÉCAUTIONS COMPLÉMENTAIRES « CONTACT »

PRÉCAUTIONS COMPLÉMENTAIRES « GOUTTELETTES »

Les précautions complémentaires « air » sont à appliquer, **en complément des précautions standard (PS)**, pour tout patient suspect ou atteint d'une pathologie transmissible par aérosols telle que tuberculose, rougeole, varicelle...

D'APRÈS LES RECOMMANDATIONS ET AVEC LA PARTICIPATION DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'HYGIÈNE HOSPITALIÈRE

LES DIFFÉRENTES MESURES

Chambre individuelle

- ▶ **Porte fermée.**
- ▶ Chambre idéalement en pression négative.
- ▶ Ventilation suffisante :
 - Ventilation mécanique avec au minimum 6 renouvellements horaires de l'air, sans recyclage.
 - En l'absence de ventilation mécanique, aération biquotidienne de la chambre (au moins 15 minutes à chaque fois) par ouverture des fenêtres, porte fermée.
- ▶ Interventions dans la chambre regroupées pour limiter les ouvertures de porte.

Les sorties du patient de sa chambre sont limitées au strict nécessaire.

- ▶ Limiter les déplacements aux plateaux techniques (sans qu'il y ait perte de chance).
- ▶ Si consultation : ne pas faire séjourner le patient en salle d'attente et diminuer le temps de prise en charge.

À noter : Les gestes générant des aérosols (kinésithérapie respiratoire ou fibroscopie bronchique) doivent être évités dans la mesure du possible.

Port de masque

- ▶ **SOIGNANT** : port d'un appareil de protection respiratoire (APR) FFP2 adapté à la morphologie du visage avant l'entrée dans la chambre, même si le patient est sorti de la chambre
 - Vérifier son bon ajustement en réalisant un *fit check* à chaque utilisation.
 - Retirer l'APR après être sorti de la chambre, une fois la porte refermée.
 - L'éliminer dans les déchets assimilés aux ordures ménagères (DAOM).
 - Réaliser ensuite une friction hydroalcoolique (FHA).

Un APR doit être porté également par toute autre personne entrant dans la chambre (visiteur, agent de nettoyage, personnel technique...).

▶ **PATIENT** : port d'un masque chirurgical

- Dès l'entrée à l'hôpital, notamment aux urgences.
- En consultation.
- Systématiquement, s'il doit quitter sa chambre.

Ces mesures seront levées en accord avec le médecin lorsque la période de contagiosité sera jugée terminée.

En complément, appliquer systématiquement les précautions standard.

VOIR FICHE PRÉCAUTIONS STANDARD

Respecter tout particulièrement les mesures d'hygiène respiratoire : en particulier, faire porter un masque à toute personne (résident, malade, visiteur, professionnel, intervenant extérieur...) présentant des symptômes de type toux/expectoration.

EN CAS DE RETARD OU DE NON-RESPECT DANS LA MISE EN PLACE DE CES MESURES POUR UN PATIENT DONT LA CONTAGIOSITÉ A ÉTÉ CONFIRMÉE

- ▶ Rechercher et identifier les sujets contacts du cas (autres patients, personnel...) s'il y a eu un risque d'exposition.
- ▶ Prendre en charge les professionnels exposés (voir base de données Eficatt sur inrs.fr).



par immunoglobulines polyvalentes par voie intraveineuse dans les 6 jours suivant le contage est recommandée. Les personnes ayant reçu des immunoglobulines en prophylaxie post-exposition de la rougeole ne pourront recevoir un vaccin ROR qu'après un délai de 9 mois [16].

Chez un sujet contact, un suivi médical est préconisé, visant à repérer les premiers symptômes d'une éventuelle rougeole.

On conseillera en outre pour l'entourage du sujet exposé de rechercher les antécédents de rougeole ou vaccinaux documentés et de mettre éventuellement à jour leur statut vaccinal.

CONCLUSION

La rougeole est une maladie infectieuse très contagieuse qui n'atteint pas que les enfants et peut être grave chez l'adulte. Des décès liés à la rougeole continuent à être déplorés en France. Une vaccination efficace existe mais la couverture vaccinale reste insuffisante, responsable d'une persistance de la circulation du virus avec des pics épidémiques. Des cas groupés peuvent survenir en milieu de travail : ils peuvent être particulièrement préoccupants chez les professionnels réceptifs à la fois pour eux-mêmes et pour les

personnes fragiles au contact desquels ils travaillent (nourrissons, femmes enceintes, immunodéprimés). La mise à jour de la vaccination rougeole et la connaissance des mesures à prendre face à un cas sont essentielles en santé au travail, associés à une information des professionnels concernés.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ANTONA D, DINA J, SOING-ALTRACH S, AÏT-BELGHITI F ET AL. - Épidémiologie de la rougeole en France entre 2011 et 2018. *Bull Epidemiol Hebd.* 2019 ; 13 : 218-27.
- [2] Plan d'action européen pour les vaccins 2015-2020. Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Bureau régional de l'Europe, 2014 (https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/257576/64wd15f_EVAP_140459_Rev1.pdf).
- [3] Rougeole. In: EFICATT. INRS, 2019 (<https://www.inrs.fr/eficatt>).
- [4] Rougeole. Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2019 (<https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/measles>).
- [5] Les décès dus à la rougeole ont augmenté de 50 % dans le monde entre 2016 et 2019, pour atteindre 207 500 morts en 2019. Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2020 (<https://www.who.int/fr/news/item/12-11-2020-worldwide-measles-deaths-climb-50-from-2016-to-2019-claiming-over-207-500-lives-in-2019>).
- [6] BONMARIN I, LEVY-BRUHL D - La rougeole en France : impact épidémiologique d'une couverture vaccinale sub-optimale. *Euro Surveill.* 2002 ; 7 (4) : 55-60.
- [7] ANTONA D, BAUDON C, FREYMUTH F, LAMY M ET AL. - La rougeole en France. *Med Sci* (Paris). 2012 ; 28 (11) : 1003-07.
- [8] ANTONA D, LEVY-BRUHL D, AÏT-BELGHITI F, BONMARIN I - Synthèse des données de surveillance de la rougeole du 1^{er} janvier 2008 au 30 septembre 2019. Point de situation au 08 octobre 2019. Santé publique France, 2019 (<https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-prevention-vaccinale/rougeole/documents/bulletin-national/synthese-des-donnees-de-surveillance-de-la-rougeole-du-1er-janvier-2008-au-30-septembre-2019>).
- [9] Rougeole. Bulletin épidémiologique. Bilan année 2019. Santé publique France, 2020 (<https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-prevention-vaccinale/rougeole/documents/bulletin-national/bulletin-epidemiologique-rougeole.-donnees-de-surveillance-2019>).
- [10] ANTONA D, MOREL P, JACQUOT C, FONTENEAU L ET AL. - Measles and rubella seroprevalence in a population of young adult blood donors, France 2013. *Epidemiol Infect.* 2019 ; 147 : e109.
- [11] Premier bilan annuel des obligations vaccinales du nourrisson. Décembre 2019. Ministère chargé de la santé, 2019 (https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/bilan_obligations_vaccinales_-2019.pdf).
- [12] Rougeole. Vaccination-info-service, 2020 (<https://professionnels.vaccination-info-service.fr/Maladies-et-leurs-vaccins/Rougeole>).

BIBLIOGRAPHIE (suite)

- [13] GAUDELUS J - Rougeole : toujours pas éliminée. *Rev Prat Méd Gén.* 2018 ; 32 (1004) : 516-18
- [14] Problématique de la rougeole chez la femme enceinte. Rapport du 23 mai 2011. Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP), 2011 (<https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=214>).
- [15] Évolution de la stratégie de gestion en cas d'épidémie de rougeole. Avis du 23 avril 2018. Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP), 2018 (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=651>).
- [16] Instruction n° DGS/SP/SP1/2018/205 du 28 septembre 2018 relative à la conduite à tenir autour d'un ou plusieurs cas de rougeole. In: Légifrance. Ministère chargé de la santé, 2018 (https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/44038?init=true&page=1&query=DGS%2FSP%2FSP1%2F2018%2F205+&searchField=ALL&tab_selection=all).
- [17] Calendrier des vaccinations et recommandations vaccinales 2020. Ministère chargé de la santé, 2020 (<https://solidarites-sante.gouv.fr/prevention-ensante/preserver-sa-sante/vaccination/calendrier-vaccinal>).
- [18] Priorix® - M-M-RvaxPro®. Grossesse et allaitement. In: Vaccins. Centre de Référence sur les Agents Tératogènes (CRAT), 2020 (https://www.lecrat.fr/rubriquefr.php?id_rubrique=4).
- [19] Rattrapage vaccinal en population générale. Statut vaccinal inconnu, incomplet ou incomplètement connu. Recommandation vaccinale. Haute Autorité de Santé (HAS), 2019 (https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2020-01/fiche_synthese_rattrapage_vaccinal_population_generale_vf.pdf).
- [20] MANUS JM - Dix menaces à la santé mondiale en 2019. *Rev Francoph Lab.* 2019 ; 2019 (511) : 20-21.
- [21] PATTE M, LEVY C, BÉCHET S, COHEN R - Perception de l'hésitation vaccinale par les médecins impliqués dans la vaccination : l'enquête Infovac. *Méd Enfance.* 2018 ; 8 : 219-23.
- [22] HUMEZ M, LE LAY E, JESTIN C, PERREY C - Obligation vaccinale : résultats d'une étude qualitative sur les connaissances et perceptions de la population générale en France. *Bull Épidémiol Hebd.* 2017 ; Hors-série : 12-20.
- [23] SHEPHER A, ATKINSON W, FRIEDMAN C, KUHAR DT ET AL. - Immunization of Health-Care Personnel. Recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices (ACIP). *MMWR Recomm Rep.* 2011 ; 60 (7) : 1-48.
- [24] ANTONA D, LÉVY-BRUHL D, BAUDON C, FREYMUTH F ET AL. - Measles elimination efforts and 2008-2011 outbreak, France. *Emerg Infect Dis.* 2013 ; 19 (3) : 357-64.
- [25] GUTHMANN JP, FONTENEAU L, CIOTTI C, BOUVET E ET AL. - Couverture vaccinale des soignants travaillant dans les établissements de soins de France. Résultats de l'enquête nationale Vaxision, 2009. *Bull Épidémiol Hebd.* 2011 ; 35-36 : 371-76.
- [26] VAUX S, FONTENEAU L, LÉVY-BRUHL D - Vaccination. Couvertures vaccinales des professionnels de santé : rougeole, coqueluche, varicelle. *Bull Santé Publique Ed Natl.* 2020 ; Nov 2020 : 1-7.
- [27] SIMONDON A - Épidémiologie de la rougeole. *Bull Santé Publique Ile-de-France.* 2020 ; Janv 2020 : 1-9.
- [28] Recrudescence de la rougeole. Repères pour votre pratique. DT07-110-20DE. Santé publique France, 2020 (<https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-prevention-vaccinale/rougeole/documents/depliant-flyer/recrudescence-de-la-rougeole>).
- [29] Prévention de la transmission croisée par voie respiratoire : air ou gouttelettes. Recommandations pour la pratique clinique (RPC). Société Française d'Hygiène Hospitalière (SF2H), 2013 (<https://www.sf2h.net/publications/prevention-de-transmission-croisee-voie-respiratoire-air-gouttelettes>).
- [30] Précautions complémentaires « Air ». Prévention de la transmission des infections en milieu de soins. Édition INRS ED 6362. Paris : INRS. 2019 : 1 p.
- [31] Survenue de maladies infectieuses dans une collectivité. Conduites à tenir. Rapport du 28 septembre 2012. Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP), 2012 (<https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=306>).
- [32] Liste des maladies à déclaration obligatoire. Santé Publique France, 2019 (<https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-a-declaration-obligatoire/liste-des-maladies-a-declaration-obligatoire>).
- [33] Guide pour l'immunisation en post-exposition. vaccination et immunoglobulines. Rapport du 19 janvier 2016. Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP), 2016 (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=548>).

Tests de génotoxicité : identifier des biomarqueurs d'effet lors des expositions à des agents cancérigènes

EN
RÉSUMÉ

Les effets sur la santé de substances ou de mélanges cancérigènes sont en général différés. Il est souvent difficile de relier ces effets à une exposition ancienne. La toxicologie dans ses approches de biologie moléculaire dispose d'outils capables d'identifier des biomarqueurs d'effets précoces, permettant ainsi d'apporter un début de réponse à cette problématique. Cet article évoque quelques-uns de ces outils de toxicologie développés et utilisés en recherche, notamment lors d'études épidémiologiques, en les illustrant avec des exemples.

AUTEURS :

C. Darne, Y. Guichard, C. Seidel, L. Gaté, département Toxicologie et biométrie, laboratoire Cancérogénèse, mutagénèse et reprotoxicité, INRS

MOTS CLÉS

CMR / Cancer / Cancérogène / Produit chimique / Produit génotoxique / Produit mutagène / Produit reprotoxique / Produit cancérigène mutagène et reprotoxique / Surveillance biologique / Biométrie

La prévention des cancers d'origine professionnelle passe notamment par l'identification des agents suspectés d'être cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques (CMR), l'analyse des procédés de travail, la mesure de l'exposition des travailleurs et l'évaluation des risques. Elle vise à mettre en œuvre tous les moyens permettant d'éviter les atteintes à la santé.

Des disciplines comme l'épidémiologie, associées à des méthodes de biométrie*, apportent des connaissances essentielles pour cette prévention. Par définition, l'épidémiologie « étudie la fréquence et la répartition dans le temps et dans l'espace des problèmes de santé dans des groupes humains, ainsi que le rôle des facteurs qui les déterminent ». Elle vise à identifier les causes des maladies et à évaluer leurs traitements et les moyens de prévention [1]. La biométrie, ou surveillance biologique, quand elle est utilisée en

milieu professionnel, participe à l'évaluation ou évalue l'exposition des travailleurs à des substances chimiques ou biologiques de l'environnement de travail. Elle s'appuie sur l'utilisation de biomarqueurs. Un biomarqueur étant défini par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme « toute substance, structure ou processus pouvant être mesuré(e) dans le corps humain ou les matrices biologiques, susceptible d'influencer ou de prédire l'incidence ou l'apparition d'une maladie ». On distingue ainsi des biomarqueurs d'exposition, des biomarqueurs d'effet et des biomarqueurs de susceptibilité [2].

Si les biomarqueurs d'exposition sont liés aux expositions professionnelles et requièrent des mesures pour caractériser des atmosphères de travail, les biomarqueurs d'effet mettent en évidence des conséquences de l'exposition à la ou aux substances sur l'organisme ; ils sont bien

* Les mots mis en couleur tout au long de l'article trouvent leur définition dans l'encadré 1 page suivante.

Tests de génotoxicité : identifier des biomarqueurs d'effet lors des expositions à des agents cancérogènes

↓ Encadré 1

> GLOSSAIRE

ADN :

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

Allèle : Variante d'un gène.

Anémie hémolytique

corpusculaire : Destruction des globules rouges à la suite d'une anomalie intrinsèque.

Aneugène : Qui provoque un nombre anormal de chromosomes.

Aneuploïdie : Nombre anormal de chromosomes dans une cellule.

Aplasie médullaire : Baisse de la production de cellules sanguines par la moelle osseuse.

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

Bases de l'ADN : Les brins d'ADN sont constitués d'une succession de nucléotides. Chaque nucléotide est constitué par un groupement phosphate, un sucre (le désoxyribose) et une base azotée. Les bases peuvent être l'adénine, la thymine, la guanine ou la cytosine.

Biomarqueur : Toute substance, structure ou processus pouvant être mesuré(e) dans le corps humain ou les matrices biologiques, susceptible d'influencer ou prédire l'incidence ou l'apparition d'une maladie.

Biomarqueur d'exposition :

Substance exogène, métabolite

primaire ou réponse à une interaction entre un agent xénobiotique et une molécule ou cellule-cible, mesurée dans un compartiment de l'organisme.

Biomarqueur d'effets : Altération biochimique, physiologique, comportementale ou autre, mesurable dans un organisme, qui selon son ampleur, peut être reconnue comme étant associée à une atteinte confirmée ou possible de l'état de santé ou à une maladie.

Biomarqueur de susceptibilité :

Indicateur de la capacité innée ou acquise d'un organisme à répondre à l'exposition à une substance xénobiotique spécifique.

Biométrie ou surveillance

biologique : Discipline scientifique ayant comme principal objectif l'évaluation du risque chimique et qui, en milieu professionnel, cherche à objectiver l'imprégnation de salariés ayant été exposés à des substances chimiques, ou biologiques (endotoxines, mycotoxines) au moyen de mesures de concentration de substances ciblées, et/ou de leurs métabolites, dans des matrices biologiques (urine, sang, condensat de l'air exhalé) recueillis lors de déplacement en entreprise.

Caryotype : Arrangement de l'ensemble des chromosomes d'une cellule, à partir d'une vue microscopique, par paire et par taille.

Chromatide : Un des deux filaments identiques qui constitue le chromosome, relié à l'autre au niveau du centromère.

Chromatine : ADN, ARN et protéine au sein du noyau sous une forme non structurée.

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

Clastogène : Qui provoque des cassures dans la molécule d'ADN.

Délétion : Perte/suppression d'un fragment d'ADN.

FISH (Fluorescent in situ hybridation) : Technique utilisant des morceaux spécifiques d'une région de l'ADN, permettant de repérer avec un microscope à fluorescence la position d'un gène ou d'une séquence sur les chromosomes. Cela permet de repérer des positions anormales dues à des translocations par exemple.

Histone : Protéine du noyau se liant à l'ADN, indispensable pour former les différentes structures de l'ADN (chromatine, **chromatide**...), elles interviennent aussi dans l'expression des gènes.

Hydrolyse : Réaction chimique et enzymatique ayant pour effet de rompre une liaison covalente à l'aide d'une molécule d'eau.

Hyperplasie : Développement anormal par multiplication cellulaire.

Inversion : Renversement d'une portion d'ADN.

Liaison covalente : Liaison chimique où deux atomes partagent des électrons par

paire, c'est une liaison forte qui nécessite de l'énergie pour être rompue.

Métabolite : Composé issu d'une transformation biochimique d'une molécule initiale.

Métaphase : Phase de la mitose (processus de division des cellules somatiques) et de la méiose (processus de division des cellules germinales) consistant au rassemblement des chromosomes à l'équateur de la cellule avant d'être séparés lors de la phase suivante.

Méthylation de l'ADN : Ajout d'un groupe méthyle (CH₃) au niveau principalement des cytosines et adénines de l'ADN.

Phosphorylation : Ajout d'un groupement phosphate.

Polymorphisme : Variation au sein d'une population créant des caractéristiques différentes entre les individus ou des groupes de population.

Polymorphisme génétique : variation dans l'information génétique créant un phénotype (caractère visible) différent.

Thrombose : Obstruction d'une veine ou d'une artère par un caillot.

Transcription : Synthèse d'ARN à partir d'ADN.

Translocation : Échange réciproque de régions, morceaux de chromosome entre des chromosomes non homologues.

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

souvent reconnus comme étant la signature d'un effet biologique délétère. Compte tenu de leur importance, bon nombre de travaux s'attachent à décrire et valider de nouveaux marqueurs d'effet. Ceux-ci sont d'autant plus pertinents en prévention qu'ils sont précoces, c'est-à-dire qu'ils sont prédictifs d'une pathologie en lien avec une exposition sans pour autant que la pathologie ne soit déclarée. Idéalement, les meilleurs biomarqueurs d'effets devraient être suffisamment précoces pour que l'on puisse, en supprimant l'exposition, limiter l'évolution de la pathologie ou mieux, permettre la réversibilité de ses effets.

Pour la prévention des risques professionnels, l'identification de substances ou de mélanges cancérogènes pour l'Homme est une problématique majeure. Les effets cancérogènes de ces composés étant en général différés, et donc difficiles à relier à une exposition souvent ancienne, il est indispensable d'identifier ces agents et de caractériser les expositions le plus tôt possible, avant même que des effets sur la santé ne se manifestent. Dans un souci d'efficacité, il conviendrait de déterminer des marqueurs de cancérogenèse pertinents sur lesquels reposeraient des mesures de prévention avant même la survenue de la pathologie et de sa symptomatologie.

La toxicologie, dans ses approches de biologie moléculaire, peut d'ores et déjà fournir un certain nombre d'outils capables d'identifier des biomarqueurs d'effet précoces et de répondre ainsi aux exigences de la prévention. L'objectif de cet article est d'évoquer quelques techniques de toxicologie génétique développées et utilisées en épidémiologie, en les illustrant avec des exemples d'utilisation. Dans l'idéal, la mise en

œuvre de ces outils doit être facile, non invasive et de faible coût.

Les atteintes de l'**ADN (acide désoxyribonucléique)** mises en évidence au travers des tests de génotoxicité constituent des biomarqueurs d'effet. Certains de ces tests peuvent d'ores et déjà être utilisés dans le cadre d'études épidémiologiques et de biométrie. En dehors de ces domaines scientifiques spécifiques, leur utilisation reste limitée car ils nécessitent de l'expertise, un peu de matériel, et leur pertinence est associée à une connaissance approfondie du contexte (sujets, environnement de travail, facteurs de confusion, matrice utilisée...).

AGENTS CANCÉROGÈNES ET OUTILS DE BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Les agents cancérogènes sont classés en deux groupes : le groupe des agents « génotoxiques », qui exercent une action directe sur l'ADN dans les premières phases de la cancérogenèse, et le groupe des agents « non génotoxiques », dont l'action n'est pas directe. Pour cette dernière catégorie, qui ne sera pas abordée dans le cadre de cet article, aucune modification de la séquence d'ADN n'est observée ; néanmoins, l'expression des gènes codés par cet ADN peut être modifiée par des mécanismes dits « épigénétiques » et se traduire par des modifications biochimiques de l'ADN (**méthylation**...), des modifications du métabolisme cellulaire, de la réponse immunitaire. Au niveau des organes ou de l'organisme, des modifications morpho-pathologiques peuvent être observées suite à l'intervention de mécanismes épigénétiques (inflammation, **hyperplasie**...).

Aujourd'hui, la plupart des méthodes utilisées en surveillance biologique sont celles détectant des effets génotoxiques des substances, donc celles qui mettent en évidence une altération du matériel génétique porteur de l'information, l'ADN contenu dans le noyau des cellules qui composent l'organisme. L'objectif de ces techniques n'est pas de mettre en évidence des cellules cancéreuses, mais de rechercher, dans des cellules normales, des atteintes de l'ADN pouvant conduire à des mutations qui, à long terme, pourraient induire des cancers.

Les cellules de l'organisme comportent un noyau contenant la molécule d'ADN. Cette molécule porte l'information génétique à la base de la constitution et du fonctionnement de l'organisme. L'ADN est compacté à l'aide de multiples familles de protéines mais la structure est dynamique et plusieurs états de l'ADN peuvent co-exister au sein du noyau. L'état sous forme de chromosome ne se retrouve que lorsque les cellules entament leur division. En dehors de cette période de division, l'ADN apparaît sous une forme moins structurée, appelée **chromatine**.

Les cellules humaines sont dotées de mécanismes de réparation de l'ADN qui, en cas de dommages, réparent et permettent de conserver l'intégrité de l'ADN. Lorsque ces mécanismes sont dans l'impossibilité de réparer les dommages, ou de corriger les erreurs d'écriture du code génétique, la cellule enclenche alors un processus de mort cellulaire programmée, appelée apoptose. Mais dans certaines situations, les dommages à l'ADN peuvent persister sans pour autant entraîner la mort de la cellule. Des erreurs (mutations - réarrangements chromosomiques) sont ainsi introduites dans l'ADN,

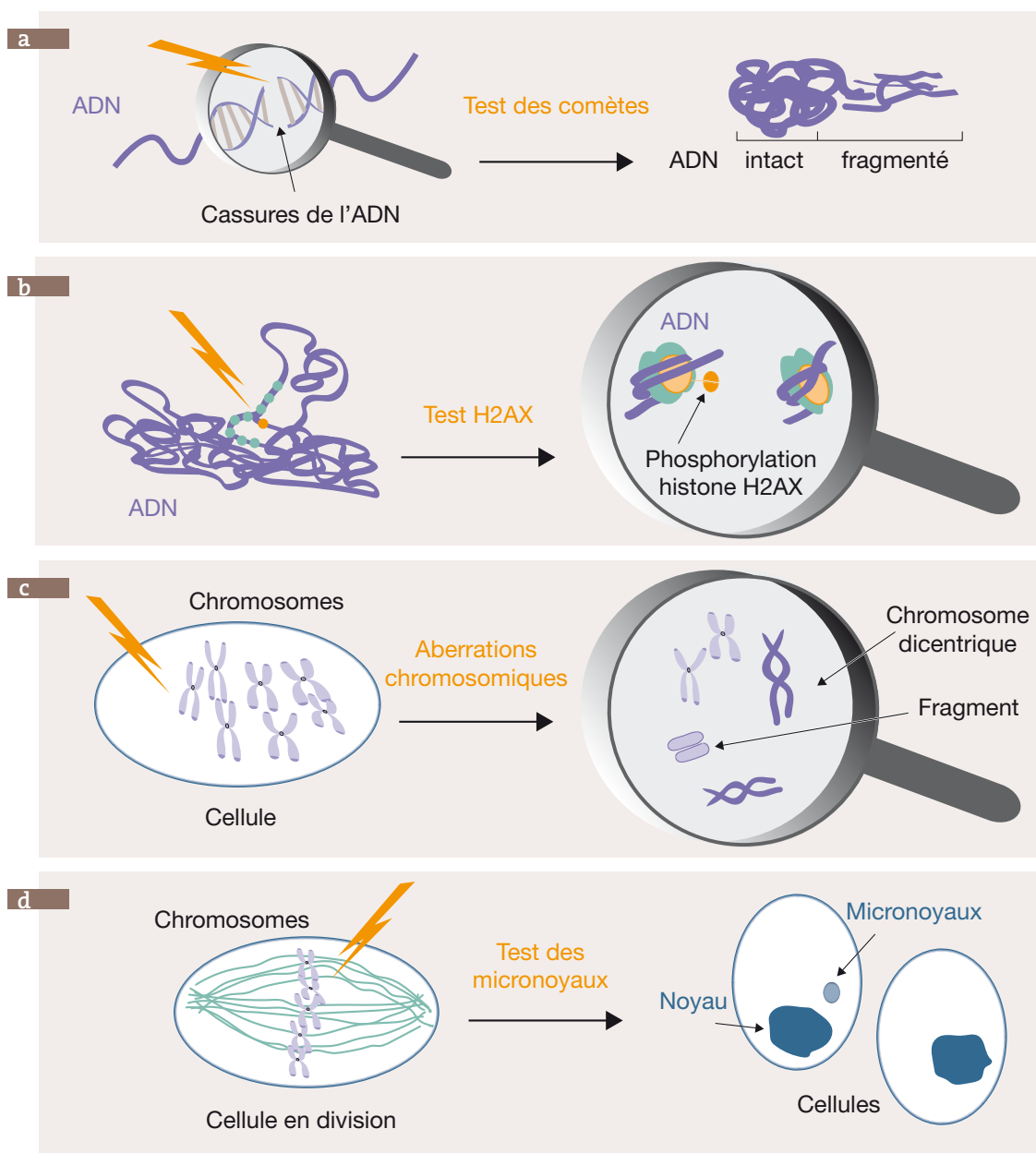
Tests de génotoxicité : identifier des biomarqueurs d'effet lors des expositions à des agents cancérogènes

ce qui peut conduire à la formation de cellules cancéreuses. Un ensemble de tests est aujourd'hui disponible, faisant appel à des méthodologies devenues classiques en toxicologie et constituant des outils faciles à mettre en œuvre pour la mise en évidence

des atteintes directes de l'ADN par les agents cancérogènes qui possèdent cette propriété. Le test des comètes (figure 1a) détecte les cassures de l'ADN, le test des aberrations chromosomiques (figure 1c) détecte les anomalies de réarrangements, des cassures de chromo-

somes, consécutives à des erreurs lors de la division cellulaire, le test des micronoyaux (figure 1d) met en évidence la présence d'ADN extra nucléaire, le test H2AX (figure 1b) recherche la présence d'une histone phosphorylée à proximité d'une cassure.

Figure 1 : Les tests utilisés pour la mise en évidence des effets des agents cancérogènes génotoxiques.



CASSURES DE L'ADN

TEST DES COMÈTES

Les cassures de l'ADN peuvent être mises en évidence à l'aide du test des comètes, également appelé SCGE (*Single cell gel electrophoresis*). Cette technique permet de mesurer des cassures de l'ADN induites directement par la substance chimique sur cette biomolécule, ou indirectement par des processus enzymatiques défectueux de réparation. Initialement mise au point par Oosting et Johanson, en 1984 [3], pour détecter les cassures double brin, la technique a ensuite été améliorée par Singh et al., en 1988 [4], avec l'adjonction d'un agent alcalin qui permet de détecter également les cassures simple brin et les sites alcali-labiles (sites sensibles aux conditions alcalines, conduisant à une cassure de l'ADN). Aujourd'hui l'introduction d'une étape de digestion enzymatique permet en plus de mettre en évidence des modifications des **bases composant l'ADN**.

Le principe de la technique est de soumettre à un champ électrique l'ADN cellulaire préalablement inclus dans un gel d'agarose et de le traiter en conditions alcalines. Sous l'effet du champ électrique, les fragments d'ADN se déplacent dans le gel d'agarose plus rapidement que l'ADN intact de plus grosse taille. Après marquage de l'ADN par un agent fluorescent, l'ensemble de l'ADN (intact et dégradé) est facilement visualisable et quantifiable avec un microscope à fluorescence. Les fragments clivés de l'ADN donnent la queue de la comète, l'ADN intact restant sous une forme compacte (**figure 1a**). C'est cet aspect de « comète » qui est révélateur de cassures de l'ADN et qui est quantifiable.

Le test nécessite l'obtention de cellules nucléées ou de leurs noyaux intacts. On l'utilise donc principalement en biosurveillance humaine à partir de prélèvements sanguins (lymphocytes), de cellules buccales ou de sperme.

À titre d'exemple, le test des comètes a été utilisé pour déterminer les effets génotoxiques de l'exposition au formaldéhyde et au dioxyde d'azote dans une ville italienne, à partir de prélèvements buccaux chez des enfants [5]. Au Brésil, c'est à partir de sang total, que l'équipe de Moro et al. a démontré que l'exposition au benzène a des effets génotoxiques sur des personnels de station d'essence [6].

Cette technique permet de quantifier les dommages à l'ADN et peut mettre en évidence des relations dose-effet. Elle est relativement sensible, mais n'est pas spécifique d'un agent. Elle nécessite donc d'être complétée par la recherche de marqueurs d'exposition (recherche de l'agent ou de ses **métabolites** chez les sujets testés). Par ailleurs, certains facteurs comme le tabac doivent être pris en compte car ce sont des facteurs confondants qui peuvent aussi induire des cassures de l'ADN. Si la réalisation du test ne nécessite que quelques heures, son analyse est un peu plus longue en raison de la nécessité d'acquiescer au minimum une centaine d'événements par échantillon afin de renforcer le traitement statistique. La technique nécessite un minimum de matériel : un microscope à fluorescence, un logiciel d'analyse d'image, le matériel d'électrophorèse... et un prélèvement cellulaire. Les cellules sanguines restent le matériel de choix dans ce type d'étude. L'avantage de tels échantillons sanguins est qu'ils peuvent

être traités immédiatement ou congelés pour être testés plus tard.

PHOSPHORYLATION DE LA PROTÉINE γ H2AX

H2AX est une protéine **histone**, distribuée de façon ubiquitaire sur tout le génome. Cette histone participe à la réparation de l'ADN. Pour cela, elle se lie à l'ADN à proximité des cassures double brin où elle est rapidement **phosphorylée**. Ainsi, le nombre de foyers de H2AX phosphorylés est corrélé au nombre de cassures double brin de l'ADN ; leur comptage permet donc de déterminer le nombre de cassures double brin de l'ADN (**figure 1b**).

Cette technique consiste à placer les cellules préalablement préparées en présence d'un anticorps spécifiquement dirigé contre la forme phosphorylée de H2AX et de le coupler ensuite avec un anticorps secondaire fluorescent afin de pouvoir dénombrer les foyers. Ainsi, l'analyse peut se faire par microscopie à fluorescence ou par cytométrie en flux (détection du marquage par passage d'un flux de cellules isolées devant un laser). Dans le cas de la biométrie, comme pour le test des comètes, un prélèvement sanguin est préférable, même si théoriquement tout type de cellules nucléées peut être utilisé.

Cette technique pourrait être une alternative intéressante car, à partir d'un prélèvement sanguin, le dénombrement des foyers et leur analyse peuvent être plus rapides que ceux du test des comètes. D'ailleurs, cette technique a été utilisée pour déterminer les effets génotoxiques du radon sur des lymphocytes prélevés chez des volontaires [7].

Cependant, si cette technique n'est pas encore pleinement

Tests de génotoxicité : identifier des biomarqueurs d'effet lors des expositions à des agents cancérigènes

utilisée, c'est parce qu'elle souffre de quelques inconvénients. D'abord, il existe une grande variété de méthodes dans la littérature, ce qui rend la comparaison des résultats délicate. Ensuite, la réparation des cassures double brin est un processus cellulaire dynamique et complexe ; en effet la présence de γ H2AX apparaît rapidement (30 min) après l'apparition des cassures, mais une grande partie disparaît presque aussi rapidement, ce qui rend le dénombrement des foyers délicat et incertain compte tenu de l'étroitesse de la fenêtre d'analyse. Pour finir, il existe une grande variabilité d'expression de H2AX en fonction des cellules ou tissus explorés, ce qui complique l'interprétation des niveaux de γ H2AX.

DÉTECTION DES ADDUITS À L'ADN [8]

Lorsqu'un agent chimique pénètre dans l'organisme, il peut être éliminé sous sa forme native, ou être métabolisé (transformé) *via* des réactions chimiques (conjugaison, oxydation, **hydrolyse**...). Le plus souvent, les métabolites sont moins réactifs et plus facilement éliminables. Cependant, certaines étapes conduisent à la formation d'intermédiaires réactifs qui réagissent avec des protéines, des lipides et également avec des acides nucléiques (ADN, **ARN**). Au niveau de l'ADN, ils se fixent par des **liaisons fortes, dites covalentes**. On parle alors d'adduits à l'ADN qui peuvent créer une déformation, une distorsion de la molécule qui aboutit en règle générale à une cassure de la molécule d'ADN. La formation de ces adduits est visible quelques heures ou quelques jours après l'exposition suivant la nature de la substance et les individus. Certains adduits provoquent des modifications des

bases de l'ADN dont la « lecture » peut être erronée lors de la réplication de l'ADN. La formation d'adduits peut ainsi conduire à l'apparition de mutations et au développement de cancers si ces adduits ne sont pas éliminés ou si l'ADN est mal réparé.

La détection de ces adduits peut être faite par des techniques de post-marquage au phosphore 32 (incorporation de phosphore radioactif au niveau de l'adduit), d'immunomarquage (utilisation d'anticorps dirigés contre les adduits lorsqu'ils sont disponibles), mais la technique aujourd'hui privilégiée est celle de la chromatographie en phase liquide couplée à de la spectrométrie de masse (LC-MS), une technique très sensible qui permet de mettre en évidence des adduits à l'ADN spécifiques de substances chimiques et, le cas échéant, une relation dose-effet.

Parmi les agents connus pour former des adduits de l'ADN, on peut citer les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) [9], les nitrosamines [10], les mycotoxines [11]. Les matrices biologiques utilisées comme source d'ADN sont souvent le sang, les cellules buccales, les cellules retrouvées dans l'urine.

Aujourd'hui, une bonne corrélation a pu être établie entre la présence d'adduits et l'exposition à des cancérigènes, même si des précautions d'usage dans l'analyse sont nécessaires (recherche de facteurs confondants, capacité métabolique individuelle, polymorphisme – cf. *Les facteurs de confusion et les différences individuelles* pp. 126-127). La difficulté de la recherche des adduits réside dans la technique d'analyse par LC-MS qui nécessite un équipement lourd et onéreux.

ALTÉRATIONS CHROMOSOMIQUES

ABERRATIONS CHROMOSOMIQUES

La recherche d'aberrations chromosomiques est sans doute l'un des tests de génotoxicité parmi les plus anciens utilisés en biométrie. L'INRS l'avait utilisé dès la fin des années 80 pour déterminer les effets du chrome, du nickel et du manganèse chez des soudeurs [12]. La technique consiste à rechercher les anomalies au niveau du **caryotype** (l'ensemble des chromosomes). Des modifications du nombre de **chromosomes** (**aneuploïdie**) sont recherchées, ainsi que des anomalies de structure des chromosomes (**délétions, translocation, inversion...**) (**figure 1c**). Cette technique peut utilement être complétée par de l'hybridation *in situ* par fluorescence (**FISH**), qui permet de déterminer plus précisément les régions et séquences chromosomiques impactées, certaines d'entre elles étant connues pour leur rôle majeur dans le développement de cancers. Dans son principe, les cellules analysées doivent être au stade **métaphase** de la division cellulaire. Le plus souvent, les cellules sont cultivées puis bloquées au stade recherché avec de la colchicine (alcaloïde bloquant la division cellulaire). Les cellules doivent donc pouvoir se diviser, c'est pourquoi ce type d'analyse est réalisé sur des lymphocytes issus de prélèvements sanguins.

Les anomalies chromosomiques peuvent persister dans les lymphocytes, ce qui permet de mesurer les effets d'expositions antérieures et/ou cumulées. En revanche, cela ne permet pas de relier directement ces modifications chromosomiques à une exposition récente. Par ailleurs, cette technique néces-

site d'avoir une population témoin et d'établir une étude préalable du contexte d'intervention et des populations étudiées. À l'instar des autres tests, certains facteurs confondants doivent être identifiés lors de l'analyse. Pour finir, ce test est lourd et fastidieux, plus de 200 métaphases sont nécessaires pour réaliser une analyse fiable. C'est pourquoi le test des micronoyaux lui est préféré aujourd'hui.

FORMATION DE MICRONOYAUX ADN

Ce test consiste à mettre en évidence des « micronoyaux », qui sont en fait des fragments de chromosomes, ou des chromosomes entiers, résultants d'un dysfonctionnement au moment de la division cellulaire qui se retrouvent ensuite dans le cytoplasme (**figure 1d**). Ainsi, l'exposition à un agent chimique peut conduire, soit à un effet **clastogène** par cassure d'un chromosome, soit à un effet **aneugène** (élimination d'un chromosome entier au moment de la division cellulaire) en perturbant la ségrégation chromosomique. Schématiquement, à partir d'un prélèvement de cellules dont les noyaux ont été marqués, les micronoyaux sont recherchés sur des cellules ayant effectué au moins une division. L'augmentation du nombre des cellules anormales parmi les sujets exposés par rapport à une population témoin est le signe d'une exposition à un produit génotoxique, et des relations dose-effet peuvent être mises en évidence le cas échéant.

Aujourd'hui, la plupart des études de biométrie sont réalisées à partir de prélèvements sanguins. Les lymphocytes issus de ces prélèvements sont mis en culture et prolifèrent pendant 2-3 jours, avant d'être bloqués à la fin de leur division par un agent chimique

(la cytochalasine B) afin d'obtenir des cellules binucléées. Ces cellules binucléées sont le signe d'une division entamée mais non finie, permettant de conserver d'éventuels micronoyaux. Il ne reste plus qu'à déterminer la fréquence d'augmentation de cellules avec micronoyaux dans la population exposée par rapport à la population témoin. Chrome, nickel, [13], chlorure de vinyle [14], benzène [6], radiations ionisantes [15]... beaucoup d'études de biosurveillance mettent aujourd'hui en œuvre le test des micronoyaux sur lymphocytes.

Le test sur prélèvement de cellules buccales est de plus en plus utilisé car moins invasif que la prise de sang. À titre d'exemple, l'INRS mène actuellement, avec d'autres partenaires, une étude épidémiologique sur les effets des brouillards de fluides de coupe. Un des volets de cette étude consiste à évaluer les éventuels effets génotoxiques en réalisant un test des micronoyaux sur les cellules buccales de travailleurs volontaires exposés ou non lors de l'accomplissement de leurs tâches [16].

Aisé à mettre en œuvre et d'une lecture facile, le test des micronoyaux est aujourd'hui la technique la plus souvent utilisée. En revanche, il faut s'assurer que les cellules observées ont la capacité de se diviser. La formation de micronoyaux étant reliée au taux de renouvellement cellulaire, le moment de l'observation est à déterminer en fonction de la durée du cycle de division cellulaire. Ce test nécessite l'utilisation d'un microscope et l'analyse des échantillons est longue car il faut un nombre minimal de cellules à analyser, plus de 2 000 par échantillon. Des systèmes de lecture automatisée sont aujourd'hui disponibles : ils

permettent d'uniformiser les analyses, mais nécessitent des préparations de très bonne qualité, parfois délicates à obtenir en fonction de la provenance des échantillons.

MUTATIONS

Au-delà de ces tests « classiques » de mise en évidence des atteintes génomiques largement utilisés en toxicologie, d'autres pistes, d'autres biomarqueurs pourraient se révéler pertinents au fur et à mesure du développement des connaissances. La mise en évidence de mutations acquises est de toute évidence une piste à creuser. Les tests de mutagenèse actuels ne permettent pas encore la détection directe de mutations chez l'homme et nécessitent souvent une étape préalable de culture cellulaire. Mais la meilleure connaissance de l'hémogloburie paroxystique nocturne (HPN), connue depuis la fin du XIX^e siècle, et qui se caractérise par une **anémie hémolytique corpusculaire**, une **aplasie médullaire** et la survenue fréquente de **thromboses**, pourrait permettre certaines évolutions dans le domaine. En effet, les travaux de recherche ont permis de montrer que cette maladie était causée par la mutation acquise d'un gène codant pour une enzyme, la phosphatidyl inositol glycanase classe A (**PIG-A**) [17]. L'élément important est que la mutation d'un seul des deux **allèles** sur le chromosome suffit pour causer une HPN, ce qui en fait un facteur sensible et facile à mettre en évidence. Aujourd'hui, le test **PIG-A** sur sang total est fondé sur la mesure de la fréquence de cellules déficientes pour le gène **PIG-A** qui code une sous-unité enzymatique impliquée dans la synthèse de la protéine d'ancrage GPI (glycosylphosphatidyl-inositol). Les cellules

Tests de génotoxicité : identifier des biomarqueurs d'effet lors des expositions à des agents cancérigènes

circulantes dépourvues d'ancre GPI, et donc déficientes pour *PIG-A*, peuvent être détectées par cytométrie en flux.

Ce gène peut donc être utilisé comme gène « sentinelle » ou « rapporteur » d'apparition de mutations. Grâce à une telle méthode, il devient donc possible, en mesurant des cellules déficientes pour l'ancre GPI, d'étudier et d'identifier des facteurs environnementaux qui influencent la fréquence de mutation. Cette technique est prometteuse, et de premières études sur des populations de travailleurs la mettent déjà en œuvre [18, 19], mais elle nécessite encore des développements et une bonne compréhension des effets observés pour être appliquée en biométrie humaine, notamment en raison des facteurs confondants comme l'âge, l'hygiène de vie... [20, 21].

MISE EN ŒUVRE : LIMITES TECHNIQUES, RÉGLEMENTAIRES ET ÉTHIQUES

LES MATRICES BIOLOGIQUES

L'étude des biomarqueurs nécessite une matrice, un échantillon, en provenance des individus étudiés. Ongles, cheveux, lait, sperme, urine, cellules buccales, sang sont utilisés en fonction des objectifs de recherche, mais le caractère invasif de certains prélèvements est une limitation au déploiement de beaucoup de ces techniques. Pour la mise en œuvre des tests de génotoxicité, le principal écueil provient de la nécessaire obtention de cellules nucléées. Le prélèvement sanguin est la méthode la plus souvent retenue mais cette méthode est invasive, bien que des techniques de prélèvement nouvelles

et moins invasives apparaissent (prélèvement de goutte de sang séché). Le prélèvement de cellules buccales ou oro-nasales, moins invasif, est aussi possible mais les rendements sont faibles et les cellules présentes sont variées en type et en proportions. Ces mêmes limites sont applicables aux prélèvements urinaires et aux cellules exfoliées qu'ils contiennent, qui sont de provenance variée (tractus urogénital, rein...) et en faible quantité. L'utilisation de cellules germinales (sperme) est aussi possible mais ne concerne qu'un seul sexe, et l'utilisation de ces cellules aux caractéristiques particulières pose encore aujourd'hui des problèmes de méthodologie et d'interprétation lors de la réalisation des tests.

LES FACTEURS DE CONFUSION

Les biomarqueurs d'effet génotoxique sont influencés par des facteurs confondants dont il faut tenir compte dans l'analyse des résultats des tests évoqués ci-dessus. L'âge, l'hygiène de vie, le stress, l'alimentation, les traitements médicaux, l'environnement, le sexe sont autant de paramètres qui sont et doivent être pris en compte dans les études épidémiologiques et de biométrie en milieu professionnel. La plupart de ces facteurs sont connus et pris en compte depuis longtemps par les épidémiologistes. Les consommations de tabac ou d'alcool sont des facteurs cancérigènes établis. Les substances générées par la combustion du tabac et la fumée contiennent de nombreux cancérigènes qui peuvent induire des effets génotoxiques, dont des cassures de l'ADN. Ces dernières peuvent être mises en évidence au travers du test des comètes ou des micronoyaux. Il en va de

même pour certains traitements médicamenteux. L'avancée en âge est une autre source de biais, car le vieillissement impacte l'ADN. À titre d'exemple, les régions télomériques situées à l'extrémité des chromosomes se raccourcissent au fil des divisions cellulaires, entraînant une modification de l'information portée par les extrémités de l'ADN [22].

L'alimentation joue également un rôle majeur en affectant le métabolisme cellulaire ou la réponse cellulaire : sucres, lipides, aliments contenant des anti-oxydants, des hormones végétales ou animales, sont autant de substances pouvant affecter le fonctionnement cellulaire et conduire à des réponses cellulaires différentes en fonction de leur consommation. Dans une étude épidémiologique en milieu professionnel, il est donc très important de recenser et de prendre en compte toutes ces données pour ne pas produire une analyse erronée à partir des biomarqueurs étudiés.

LES DIFFÉRENCES INDIVIDUELLES

L'analyse des effets d'une exposition nécessite parfois l'appréciation et la recherche de facteurs de susceptibilité. Il s'agit de marqueurs reflétant une ou des caractéristiques d'un organisme le rendant plus sensible aux effets d'un agent après une exposition. On parle de biomarqueurs de susceptibilité, de **polymorphisme génétique** ou de susceptibilité individuelle. Après pénétration dans l'organisme, les **xénobiotiques** sont le plus souvent métabolisés, c'est-à-dire transformés par les cellules de l'organisme afin d'être éliminées. Les molécules ainsi créées sont le plus souvent moins toxiques mais ce n'est pas toujours le cas. Ce processus de transforma-

tion s'effectue grâce au « bagage » enzymatique des cellules qui peut être différent d'un individu à un autre, d'une population à une autre. Ainsi, la réponse cellulaire et la métabolisation des substances ne sont pas parfaitement identiques chez tous les individus.

Le cas du cytochrome P450 est un bon exemple. Il s'agit d'une famille de metalloprotéines impliquées dans des réactions d'oxydoréduction dans les cellules. Elles sont aussi impliquées dans la transformation de molécules exogènes. On compte aujourd'hui plusieurs centaines de cytochromes différents avec des activités enzymatiques différentes. La « composition » en cytochromes P450 et leur polymorphisme dans les populations modifieront donc la réponse à la présence d'un xénobiotique [23].

ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET ÉTHIQUES

Après l'évaluation du danger des substances, la surveillance biologique est un excellent outil pour le repérage des effets infracliniques. La recherche et l'utilisation de biomarqueurs sont précieuses dans les études épidémiologiques afin de mettre en relation les expositions professionnelles et leurs effets précoces sur la santé. L'utilisation d'échantillons humains est précisément encadrée par la législation. Avant tout prélèvement, il faudra s'entourer de bon nombre de précautions comme l'obtention d'un consentement éclairé auprès des volontaires, la mise en œuvre de procédures et d'outils garantissant la sécurité et la confidentialité des données médicales individuelles et la gestion rigoureuse des échantillons biologiques. Ces mesures relèvent notamment du règlement général sur la protection des données (RGPD) et de la loi relative aux re-

cherches impliquant la personne humaine (loi Jardé).

Par ailleurs, il convient de toujours garder à l'esprit que les biomarqueurs de susceptibilité, choisis sur des critères de validité scientifique et de pertinence pour la protection des travailleurs, ne doivent pas être utilisés à des fins de dépistage et/ou d'assurance et/ou d'aptitude à tel ou tel emploi/tâche. Ces biomarqueurs devraient servir à réévaluer les valeurs limites d'exposition professionnelle ou à aménager les postes de travail pour protéger l'ensemble des travailleurs en tenant compte des plus sensibles. La biométrie est un outil utile pour améliorer les conditions de travail, mais elle ne doit pas entraîner de discrimination ou de réduction d'accès à l'emploi. La prévention des risques professionnels s'effectue d'abord par la substitution des agents dangereux s'ils ne peuvent pas être éliminés, et ensuite par le développement et la mise en place de protections collectives puis individuelles et le contrôle des expositions.

Lorsque les tests décrits ci-dessus sont utilisés dans des études de populations au travail, la restitution des résultats doit être réalisée en exposant le contexte des situations de travail et les résultats d'analyse des atmosphères de travail. Même si les résultats sont obtenus pour chaque individu, l'analyse de ces résultats doit se faire à l'échelle des groupes d'exposition caractérisés. Une analyse et une restitution pour chaque individu n'apparaissent pas recommandées, en raison de la sensibilité de ces tests aux facteurs confondants, susceptibilités individuelles, mécanismes de cassures et réparations endogènes qui génèrent un « bruit de fond » pouvant conduire à une mauvaise imputation des effets.

CONCLUSION

L'utilisation des tests de génotoxicité décrits brièvement ci-dessus présente des avantages non négligeables pour les études portant sur la surveillance biologique de populations de travailleurs. Le premier d'entre eux est qu'au travers de ces analyses, ce n'est pas seulement l'exposition, mais également les effets biologiques qui sont déterminés. En conséquence, ils permettent d'évaluer le danger, et par extension le risque, encourus par les salariés exposés à des substances ou mélanges de substances CMR.

Autre avantage, les effets mesurés sont le reflet de l'exposition « totale ». Ils ne sont pas, le plus souvent (sauf conditions particulières), attribuables à un agent, mais au mélange présent dans l'atmosphère de travail. Il y a donc tout intérêt aujourd'hui à incorporer ce type de test, en plus des mesures d'expositions, dans les études épidémiologiques, lorsque les prélèvements de matrices biologiques nécessaires sont possibles.

POINTS À RETENIR
ET BIBLIOGRAPHIE



Tests de génotoxicité : identifier des biomarqueurs d'effet lors des expositions à des agents cancérogènes

POINTS À RETENIR

- Les agents cancérogènes sont dits « génotoxiques » si leur action s'exerce directement sur l'ADN, en altérant le matériel génétique.
- Plusieurs tests toxicologiques sont disponibles pour mettre en évidence des atteintes directes de l'ADN.
- Le test des comètes et le test γ H2Ax mesurent les cassures de l'ADN.
- Le test des adduits à l'ADN met en évidence la fixation d'une substance ou de l'un ou de ses métabolites, sur l'ADN.
- Le test des micronoyaux et celui des aberrations chromosomiques mesurent les altérations chromosomiques.
- Le test *PIG A* met en évidence une mutation de l'ADN.
- Les études épidémiologiques en milieu professionnel qui utilisent ces tests doivent prendre en compte de nombreux facteurs de confusion et respecter un cadre réglementaire précis.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | BOURGKARD E, DEMANGE V, AUBRY C - L'épidémiologie en santé au travail (I). Définitions et concepts. Pratiques et déontologie TM 9. *Doc Méd Trav*. 2007 ; 112 : 477-86.
- 2 | VINCENS F - Indicateurs biologiques d'effets précoces. Leur utilisation dans la prévention du risque chimique en santé au travail. Grand angle TC 149. *Réf Santé Trav*. 2015 ; 141 : 23-33.
- 3 | OSTLING O, JOHANSON KJ - Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. *Biochem Biophys Res Commun*. 1984 ; 123 (1) : 291-98.
- 4 | SINGH NP, MCCOY MT, TICE RR, SCHNEIDER EL - A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res*. 1988 ; 175 (1) : 184-91.
- 5 | MARCON A, FRACASSO ME, MARCHETTI P, DORIA D ET AL. - Outdoor formaldehyde and NO₂ exposures and markers of genotoxicity in children living near chipboard industries. *Environ Health Perspect*. 2014 ; 122 (6) : 639-45.
- 6 | MORO AM, CHARÃO MF, BRUCKER N, DURGANTE J ET AL. - Genotoxicity and oxidative stress in gasoline station attendants. *Mutat Res*. 2013 ; 754 (1-2) : 63-70.
- 7 | DING D, ZHANG Y, WANG J, WANG X ET AL. - γ -H2AX/53BP1/pKAP-1 foci and their linear tracks induced by in vitro exposure to radon and its progeny in human peripheral blood lymphocytes. *Sci Rep*. 2016 ; 6 : 38295.
- 8 | POIRIER MC - Linking DNA adduct formation and human cancer risk in chemical carcinogenesis. *Environ Mol Mutagen*. 2016 ; 57 (7) : 499-507.
- 9 | HAUGEN A, BECHER G, BENESTAD C, VAHAKANGAS K ET AL. - Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urine, benzo(a)pyrene diol epoxide-DNA adducts in lymphocyte DNA, and antibodies to the adducts in sera from coke oven workers exposed to measured amounts of polycyclic aromatic hydrocarbons in the work atmosphere. *Cancer Res*. 1986 ; 46 (8) : 4178-83.
- 10 | SHUKER DE, PREVOST V, FRIESEN MD, LIN D ET AL. - Urinary markers for measuring exposure to endogenous and exogenous alkylating agents and precursors. *Environ Health Perspect*. 1993 ; 99 : 33-37.
- 11 | GROOPMAN JD, DONAHUE PR, ZHU JQ, CHEN JS ET AL. - Aflatoxin metabolism in humans: detection of metabolites and nucleic acid adducts in urine by affinity chromatography. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1985 ; 82 (19) : 6492-96.
- 12 | ELIAS Z, MUR JM, PIERRE F, GILGENKRANTZ S ET AL. - Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes of welders and characterization of their exposure by biological samples analysis. *J Occup Med*. 1989 ; 31 (5) : 477-83.
- 13 | DANADEVI K, ROZATI R, BANU BS, GROVER P - Genotoxic evaluation of welders occupationally exposed to chromium and nickel using the Comet and micronucleus assays. *Mutagenesis*. 2004 ; 19 (1) : 35-41.
- 14 | BOLOGNESI C, BRUZZONE M, CEPPI M, KIRSCH-VOLDERS M - The lymphocyte cytokinesis block micronucleus test in human populations occupationally exposed to vinyl chloride: A systematic review and meta-analysis. *Mutat Res*. 2017 ; 774 : 1-11.
- 15 | GERIĆ M, POPIĆ J, GAJSKI G, GARAJ-VRHOVAC V - Cytogenetic status of interventional radiology unit workers

occupationally exposed to low-dose ionising radiation: A pilot study. *Mutat Res.* 2019 ; 843 : 46-51.

16 | BOURGKARD E, DEMANGE V - Exposition aux fluides de coupe et biomarqueurs d'effets précoces : stress oxydant, inflammation et génotoxicité (OxiGenoCOM). *Épidémiologie-Biométrie*. Étude INRS ET2017-004. INRS, 2017 (<https://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/etude.html?refINRS=ET2017-004>).

17 | TAKEDA J, MIYATA T, KAWAGOE K, LIDA Y ET AL. - Deficiency of the GPI anchor caused by a somatic mutation of the PIG-A gene in paroxysmal nocturnal hemoglobinuria. *Cell.* 1993 ; 73 (4) : 703-11.

18 | CAO Y, WANG T, XI J, ZHANG G ET AL. - PIG-A gene mutation as a genotoxicity biomarker in human population studies: An investigation in lead-exposed workers. *Environ Mol Mutagen.* 2020 ; 61 (6) : 611-21.

19 | ALBERTINI RJ, NICKLAS JA, VACEK PM, CARTER EW ET AL. - Longitudinal study of t-cell somatic mutations conferring glycosylphosphatidylinositol-anchor deficiency in gulf war I veterans exposed to depleted uranium. *Environ Mol Mutagen.* 2019 ; 60 (6) : 494-504.

20 | OLSEN AK, DERTINGER SD, KRÜGER CT, EIDE DM ET AL. - The Pig-a Gene Mutation Assay in Mice and Human Cells: A Review. *Basic Clin Pharmacol Toxicol.* 2017 ; 121 (Suppl 3) : 78-92.

21 | CASTEL P, CARCOPINO X, ROBERT S, BONETTO R ET AL. - Le gène PIG-A, nouveau marqueur de mutagenèse. Preuves de concept et exposé de la technique. *Méd Sci (Paris).* 2017 ; 33 (4) : 432-39.

22 | RIZVI S, RAZA ST, MAHDI F - Telomere length variations in aging and age-related diseases. *Curr Aging Sci.* 2014 ; 7 (3) : 161-67.

23 | LEE HS, YANG M - Applications of CYP-450 expression for biomonitoring in environmental health. *Environ Health Prev Med.* 2008 ; 13 (2) : 84-93.

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



Fabrication additive ou impression 3D

EN RÉSUMÉ

La fabrication additive, ou impression 3D, consiste à ajouter de la matière pour former une pièce. Ce procédé se développe considérablement. Outre les risques classiques de toute activité industrielle, il expose à des risques spécifiques liés aux produits utilisés, mais aussi à ceux émis par ce procédé. Après avoir décrit succinctement les différentes technologies de fabrication additive, cet article présente les risques spécifiques à chacune d'elles et les moyens d'en prévenir les effets sur la santé.

AUTEURS :

M. Ricaud¹, C. Pastrascu¹, S. Malard², F.X. Keller³

1. Département Expertise et conseil technique, INRS

2. Département Études et assistance médicales, INRS

3. Département Ingénierie des procédés, INRS

MOTS CLÉS

Fabrication additive / Évaluation des risques / Organisation du travail / Équipement de protection individuelle / EPI / Risque chimique

Initée au début des années 1980 par des travaux en laboratoire et le dépôt de quelques brevets en 1984, dont certains sont français, la fabrication additive consiste à ajouter de la matière pour former une pièce, plutôt que d'en enlever comme c'est le cas dans les procédés de fabrication traditionnels (fraisage, tournage).

Le développement des machines de fabrication additive (ou impression 3D) est en progression constante dans de nombreux secteurs de l'industrie : aéronautique, automobile, médical (prothèses dentaires et auditives), équipements sportifs, outillage... Les principaux avantages de la fabrication additive sont la réduction du prix de revient des pièces à géométrie complexe, la réduction des délais de fabrication, la construction de prototypes fonctionnels, l'augmentation du rendement matière (la quantité de matière nécessaire pour produire une pièce est calculée au plus juste), la réduction des frais fixes liés à la fabrication des moules et des outillages ainsi que la limitation de l'utilisation des fluides de coupe et de la génération des copeaux seulement aux étapes de finition.

Dans la littérature, les études menées sur les risques professionnels

liés à l'utilisation de la fabrication additive sont peu nombreuses. Or, ces risques peuvent être multiples et variés compte tenu des différentes technologies présentes sur le marché. Il est donc indispensable d'évaluer ces risques afin de mettre en place des mesures de protection des salariés adaptées.

LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES

La norme NF EN ISO 17296 - 2 définit sept procédés de fabrication additive. Ce domaine étant en plein essor, d'autres procédés de fabrication peuvent enrichir ceux définis par la norme.

De nombreuses matières sont mises en œuvre dans cette technologie. Les plus fréquemment rencontrées sont les matières plastiques, les métaux et les céramiques.

Les matières plastiques mises en œuvre sont des polymères sous forme de fils, de poudres ou de résines liquides, alors que les métaux se retrouvent généralement sous forme de poudres ou de fils.

Les différentes techniques existantes selon la norme NF EN

Fabrication additive ou impression 3D

ISO 17296 - 2 sont détaillées dans le **tableau I** avec les matières premières les plus utilisées. Ce secteur étant en constante évolution, il n'est pas possible de proposer une

liste exhaustive des matières premières mises en œuvre. Les principaux procédés de fabrication additive mis en œuvre actuellement en France sont, pour la trans-

formation des matériaux plastiques, l'extrusion de matière (appelée aussi dépôt de fil fondu) suivi de la photopolymérisation. Concernant la transformation des métaux, les

> **TABLEAU I : LES PRINCIPAUX PROCÉDÉS DE FABRICATION ADDITIVE ET LES MATÉRIAUX ASSOCIÉS (d'après [1])**

| Nom et description succincte du procédé | | Matières utilisées * |
|--|--|---|
| <p>Extrusion de matière (FDM – Fused Deposition Modeling) Le matériau est distribué de manière sélective par une buse en couches successives. Généralement la buse est dotée d'un système pour chauffer et faire fondre la matière.</p> | | Fils plastiques : ABS, PLA, PET, PC, PEEK... |
| <p>Photopolymérisation en cuve (stéréolithographie – SLA) Un photopolymère liquide est durci de manière sélective par un rayonnement spécifique (LED ou laser généralement).</p> | | Photopolymères liquides : acryliques, polyuréthanes, résines epoxy, polyéthylène glycol, glycérol... |
| <p>Fusion sur lit de poudre (Laser Bed Melting) L'énergie thermique (rayon laser, faisceau d'électrons...) fait fondre de manière sélective le matériau présent sous forme de poudre.</p> | | Poudres plastiques : polyamides (PA11, PA12, PA6), TPU... Poudres métalliques : titane, nickel, aluminium, inox... |
| <p>Projection de liant Un produit liquide (une colle) est déposé de manière sélective pour lier le matériau qui est sous forme de poudre. Cette technologie nécessite généralement une deuxième étape, de cuisson pour stabiliser la forme finale de l'objet.</p> | | Poly(acide acrylique), polyuréthanes, copolymères styrène acrylate, cyanoacrylate de méthyle, polyamides... Poudres métalliques : titane, nickel, aluminium, inox... |
| <p>Stratification en couches Les couches de matériau sont découpées de manière sélective puis liées pour former l'objet à fabriquer.</p> | | Feuilles papier ou plastique |
| <p>Projection de matière Des gouttelettes de matériau sont déposées de manière sélective et solidifiées sous l'action d'une lumière UV.</p> | | Photopolymères liquides : acryliques, polyuréthanes, résines époxy, polyéthylène glycol, glycérol, silicones, élastomères, cires... |
| <p>Dépôt de matière sous énergie concentrée La matière est déposée de manière sélective puis est fondue progressivement par un apport d'énergie thermique (rayon laser, faisceau d'électrons...).</p> | | Poudres plastiques : polyamides (PA11, PA12, PA6), TPU... Poudres ou fils métalliques : titane, nickel, aluminium, inox... |

© Illustrations : A. Vilcoq pour l'INRS

* *Glossaire des matériaux utilisés* : ABS : acrylonitrile butadiène styrène ; PLA : acide polylactique ; PET : poly(téréphtalate d'éthylène) ; PC : polycarbonate ; PEEK : poly(étheréthercétone) ; PA11 : polyamide 11, polyundécanamide, nylon ; PA12 : polyamide 12, polyaulolactame ; PA6 : polyamide 6, polycaprolactame ; TPU : polyuréthane thermoplastique.

► **TABLEAU II : TAILLE DES ENTREPRISES AYANT RÉPONDU À L'ENQUÊTE (d'après [2])**

| Taille de l'entreprise | Nombre d'entreprises ayant répondu à l'enquête N= 84, n (%) |
|------------------------|--|
| 1 à 9 salariés | 60 (71 %) |
| 10 à 249 salariés | 14 (17 %) |
| 250 à 4 999 salariés | 6 (7 %) |
| Plus de 5 000 salariés | 4 (5 %) |

techniques les plus répandues sont la fusion sur lit de poudre, le dépôt de matière sous énergie concentrée et la projection de matière.

LES SECTEURS D'ACTIVITÉS EN FRANCE

Deux enquêtes de filières ont été menées par l'INRS en 2017 [2] : la première sur la fabrication additive métallique et la seconde concernant la fabrication additive non-métallique, incluant les matières plastiques et les céramiques. L'objectif était de recenser les différentes techniques de fabrication additive implantées et utilisées en France et de réaliser un état des lieux du parc de machines.

La méthodologie mise en place pour ces enquêtes de filière était composée de trois étapes. La première consistait à identifier les acteurs utilisateurs de machines industrielles. La deuxième portait sur le recueil des informations relatives aux conditions d'utilisation de ces machines. Enfin, une dernière étape s'est focalisée sur l'analyse et la synthèse des informations recueillies.

Une quarantaine d'entretiens avec des acteurs du secteur a été effectuée. À ces entretiens, s'est ajoutée une enquête en ligne qui a permis de compléter la base des réponses.

POUR LA TECHNOLOGIE NON MÉTALLIQUE

Ces enquêtes de filière ont permis de constater que la fabrication additive non métallique était utilisée dans de nombreux secteurs tels que aéronautiques, automobile, pièces de machines, biens de consommation, secteur médicale et dentaire, architecture... Près de 90 % des entreprises sont des TPE-PME (tableau II).

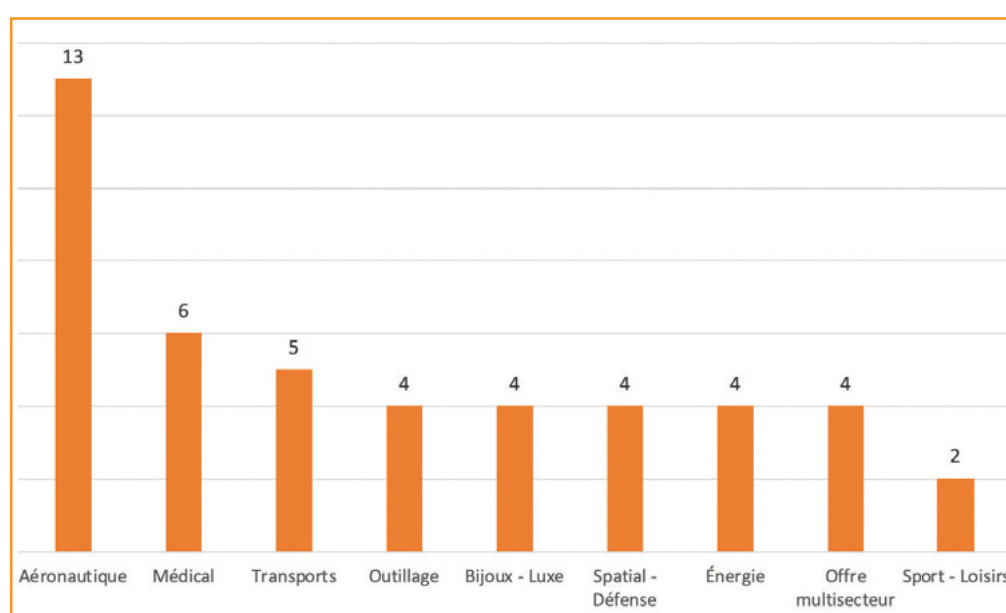
Concernant l'évolution du parc machines, elle devrait être rapide. En effet, dans un premier temps, les ventes de machines (en unité) de fabrication additive ont augmenté à l'échelle mondiale de 91 % entre 2013 et 2014, de 103 % entre 2014 et 2015 et de 108 % entre 2015 et 2016. Si l'on estime une croissance similaire entre 2016 et 2017, il devrait s'être vendues environ 7 000 machines de fabrication additive non-métallique en France. En 2019, la France est classée 4^e sur le marché mondial de la fabrication additive avec un chiffre d'affaire de 490 millions d'euros, le secteur des matières plastiques représentant 87 % de ce chiffre.

Par ailleurs, parmi les répondants à l'enquête, 64 envisagent d'acquérir au moins une nouvelle machine d'ici 3 ans alors que 9 n'envisagent pas cette acquisition. Quarante-sept répondants optent plutôt pour une machine de fabrication additive avec des matières plastiques : extrusion de matière pour 70 % des répondants et photopolymérisation pour 40 % d'entre eux. Vingt-quatre répondants optent pour une machine de fabrication additive avec des matières métalliques, 10 ne savent pas et 5 optent pour une machine de fabrication additive avec des céramiques.

POUR LA TECHNOLOGIE MÉTALLIQUE

Au sujet de la fabrication additive avec des matières métalliques, les secteurs d'application sont multiples. Dans la figure 1 sont indiqués les secteurs concernés suivant les réponses des entreprises qui ont accepté de participer à l'enquête. Il est à noter que le secteur aéronau-

Figure 1 : Secteurs d'activité ayant recours à la fabrication additive métallique [2]



Fabrication additive ou impression 3D

tique et spatial-défense est prédominant avec un tiers de répondants.

Il a été possible de recenser, en fonction des réponses aux questionnaires, le nombre de machines par type de procédés ainsi que les marques des machines présentes dans les entreprises. Il est à noter que la technologie fusion sur lit de poudre (*Laser Bed Melting*) est nettement prédominante (tableau III).

LES RISQUES SPÉCIFIQUES DE LA FABRICATION ADDITIVE

La fabrication additive présente des risques multiples communs à toute activité industrielle comme les risques électriques, les risques organisationnels...

La fabrication additive expose également à des risques spécifiques. Il s'agit principalement des risques chimiques et du risque d'incendie et d'explosion ainsi que des risques propres à certaines technologies comme le risque de brûlures, celui de chutes de hauteur, les troubles musculosquelettiques, les risques dus aux rayonnements... (encadré 1). L'ensemble des risques doit faire l'objet d'une évaluation formalisée dans le document unique, conduisant à la mise en place de mesures tant techniques qu'organisationnelles afin de les supprimer ou de les réduire.

Au sein des entreprises mettant en œuvre la fabrication additive, les risques dépendent de la technologie utilisée et des matériaux employés (matières premières). Ainsi, chaque couple technologie/matière première présente des risques différents. Afin d'identifier et d'évaluer ceux-ci, il convient d'analyser chaque situation de travail.

Les produits qui participent aux risques chimiques et aux risques d'incendie et d'explosion sont les matières premières comme les fils

Tableau III : Répartition, selon le procédé utilisé, du parc machines en fabrication additive métallique [2]

| LBM | 67 |
|----------------------------|----|
| 3D systems [®] | 28 |
| EOS [®] | 15 |
| SLM Solutions [®] | 10 |
| Renishaw [®] | 7 |
| Realizer [®] | 2 |
| Add-Up [®] | 1 |
| Concept laser [®] | 1 |
| Non communiqué | 3 |
| DMD | 3 |
| Trumpf [®] | 2 |
| BeAM [®] | 1 |
| EBM | 1 |
| Arcam [®] | 1 |

LBM - Laser Bed Melting.

DMD - Direct Metal Deposition.

EBM - Electron Beam Melting.

↓ Encadré 1

> LES AUTRES RISQUES LIÉS À LA FABRICATION ADDITIVE

Au-delà du risque chimique, qui est une évidence pour certaines technologies de fabrication additive mais qui demeure difficile à quantifier pour d'autres, il existe des risques supplémentaires tels que le risque d'incendie et d'explosion. Il est dû à la présence de produits inflammables ou extrêmement inflammables, sous forme de gaz, de liquides ou de poudres. À ces produits s'ajoutent les matières plastiques qui, même si elles ne sont pas classées comme produits inflammables, sont combustibles et peuvent participer à l'alimentation d'un incendie. Une attention particulière doit être portée aux poudres métalliques qui peuvent, sous certaines conditions de pression et concentration, former une atmosphère explosive, même si elles ne sont pas classées inflammables. D'autres risques existent comme, par exemple, celui de brûlures inhérent à l'extrusion de matières utilisant des fils plastiques. Des interventions humaines sont nécessaires à l'intérieur des machines et les températures de la tête d'extrusion sont suffisamment élevées pour provoquer des brûlures (supérieures à 200 °C).

La modification des machines d'extrusion de matières plastiques ou la construction de ces machines à partir de kits engendre la perte de la certification CE ainsi que le non-respect de la directive Machines 2006/42/CE [3]. Ces modifications sont responsables de nouveaux risques électriques, d'incendie... Les gestes répétitifs et surtout la manipulation de charges lourdes représentées par les récipients de poudres métalliques (matériaux denses) peuvent être responsables de l'apparition de troubles musculosquelettiques. L'accès au chargement de matières premières de certaines machines se fait à une hauteur de 1 à 2 m. Ces situations peuvent être responsables de chutes de hauteur. Lors de la manutention des machines utilisant comme source d'énergie un laser, l'exposition aux rayonnements s'ajoute à la liste des risques à prendre en compte. Le travail sur des longues durées avec des équipements de protection individuelle (cagoule, combinaison étanche...) peut être responsable de l'apparition d'irritations ou d'un inconfort thermique.

➤ **TABLEAU IV : PRODUITS UTILISÉS LORS DE LA MISE EN ŒUVRE DE PROCÉDÉS DE FABRICATION ADDITIVE AVEC LEURS PRINCIPAUX EFFETS SUR LA SANTÉ**

| Produits utilisés | Principaux effets sur la santé |
|--------------------------|--|
| Isopropanol | Irritant pour les yeux, vertiges et somnolence |
| Méthacrylate de méthyle | Allergie cutanée, irritant pour la peau et les voies respiratoires |
| Cyanoacrylate de méthyle | Irritant pour la peau, les yeux et les voies respiratoires |
| Nickel | Allergie cutanée, susceptible de provoquer le cancer (agent cancérigène de catégorie 2 selon le règlement CLP*) |
| Cuivre | Irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires |
| Cadmium | Atteintes digestives, respiratoires, osseuses et cardio-vasculaires, susceptible de provoquer le cancer, effets mutagène et toxique pour la reproduction suspectés (agent cancérigène de catégorie 1B et mutagène et toxique pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement CLP) |
| Cobalt | Allergies cutanée et respiratoire, peut provoquer le cancer, effet mutagène suspecté, toxique pour la reproduction (agent cancérigène et toxique pour la reproduction de catégorie 1B et mutagène de catégorie 2 selon le règlement CLP) |
| Azote | Anoxie |

* Règlement européen sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des produits chimiques

➤ **TABLEAU V : PRODUITS ÉMIS LORS DE LA MISE EN ŒUVRE DE PROCÉDÉS DE FABRICATION ADDITIVE AVEC LEURS PRINCIPAUX EFFETS SUR LA SANTÉ**

| Produits émis | Principaux effets sur la santé |
|--------------------------------------|--|
| Poussières ultrafines | Effets respiratoires et cardiovasculaires, voire cancérigènes (en fonction des particules) |
| Oxydes de nickel | Allergie cutanée, peut provoquer le cancer (agents classés cancérigènes de catégorie 1A selon le règlement CLP*) |
| Oxydes de cobalt | Allergies cutanée et respiratoire, cancérigénicité et toxicité pour la reproduction présumées |
| Oxydes de cuivre | Irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires |
| Oxyde de chrome (trioxyde de chrome) | Irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires, atteintes des voies aériennes, peut provoquer le cancer, mutagène, toxique pour la reproduction suspecté (agent cancérigène de catégorie 1A, mutagène de catégorie 1B et toxique pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement CLP) |
| Oxydes de cadmium | Atteintes digestives, respiratoires, osseuses et cardiovasculaires, susceptible de provoquer le cancer, effets mutagène et toxique pour la reproduction suspectés (agent cancérigène de catégorie 1B et mutagène et toxique pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement CLP) |
| Styrène | Nocif par inhalation, effets ototoxiques, et toxicité pour la reproduction suspectée, irritant pour la peau et les yeux |
| Acétone | Irritant pour les yeux, vertiges et somnolence |
| Isopropanol | Irritant pour les yeux, vertiges et somnolence |

* Règlement européen sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des produits chimiques

gène, le styrène, l'acétone et certaines particules ultrafines sont par ailleurs inflammables. Tout comme les effets sur la santé des produits utilisés ou émis, les niveaux d'exposition sont également dépendants des technologies employées.

POUR LA TECHNOLOGIE NON MÉTALLIQUE

Les matériaux non métalliques utilisés sont principalement des matières plastiques. Elles représentent plus de 80 % des matériaux employés. Les matières premières plastiques les plus rencontrées

sont l'ABS (acrylonitrile-butadiène-styrène), le PLA (acide polylactique) et les polyamides. Les céramiques, mises en œuvre principalement pour la fabrication de prothèses (dentaires ou autres), représentent 1 % des matériaux utilisés.

Les procédés les plus courants sont l'extrusion de matière, la photopolymérisation et la projection de liant.

EXTRUSION DE MATIÈRE

Pour la fabrication additive par extrusion de matières plastiques (dépôt de fil fondu), les salariés sont exposés aux produits de dégradation thermique comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), les aldéhydes, le styrène... et les particules ultrafines (la majorité des particules émises ont un diamètre inférieur à 100 nm [4]). Les taux d'émission de particules générées par des machines d'impression 3D par dépôt de fil alimentées avec de l'ABS sont de l'ordre de 10⁹ à 10¹¹ particules.min⁻¹ (#.min⁻¹) environ et de l'ordre de 10⁸ à 10¹⁰ #.min⁻¹ pour du PLA [5]. Pour ces deux matériaux, les machines peuvent être catégorisées comme étant émettrices en particules ultrafines. En général, l'ABS émet plus de particules que le PLA et les additifs pourraient avoir un effet important sur les émissions [6].

Les composés organiques volatiles (COV) émis par des imprimantes par extrusion de matière (dépôt de fil fondu) sont principalement des vapeurs issues de la dégradation des thermoplastiques. La concentration émise en styrène – qui est un des produits émis par des imprimantes 3D par dépôt de fil ABS – est de l'ordre de 150 à 250 µg.m⁻³ [7], des niveaux largement inférieurs à la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) française (100 mg.m⁻³). À titre de

1. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=421&tid=74>

comparaison, ces niveaux correspondent à 20 fois la concentration en styrène mesurée dans des bureaux « classiques » au cours de la campagne US EPA BASE¹. Les émissions en COV totaux générées par les imprimantes 3D à dépôt de fil en fonction de différents matériaux (ABS, PLA) ont pu être mesurées et peuvent atteindre $3\,500\ \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$. Il n'y a pas de seuil réglementaire pour les niveaux d'émission en particules ou en COV totaux. Pour comparaison, le niveau d'émission en COV d'une imprimante laser évolue entre $5\,782$ et $7\,735\ \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$.

PHOTOPOLYMÉRISATION

La photopolymérisation utilise des résines liquides et des solvants. Les niveaux de concentration des substances chimiques employées et émises, analysées une à une, sont faibles. À titre d'exemple, la concentration mesurée en acétone est de 26 ppm, la valeur limite étant de 250 ppm ; alors que la concentration en COV totaux varie entre $14\,300$ et $23\,700\ \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ [8]. Cette technologie émet 4 à 7 fois plus de vapeurs que l'extrusion de matières plastiques.

PROJECTION DE LIANT

Lors de l'utilisation des imprimantes à projection de liant sur lit de poudre plastique, la concentration dans les lieux de travail en COV peut atteindre $1\,725\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Le taux d'émission des particules générées par cette technologie est d'environ $10^4\ \#\cdot\text{min}^{-1}$, les particules ayant majoritairement un diamètre compris entre 200 et 400 nm [9]. Les concentrations mesurées, autant en COV qu'en particules, ramenées à 24 heures, sont plusieurs fois supérieures aux valeurs guides issues de la qualité de l'air intérieur [10]. En conclusion, pour les procédés de fabrication additive utilisant des matières plastiques, les concen-

trations des produits chimiques utilisés ou émis par les machines ou relevées dans l'atmosphère des lieux de travail demeurent faibles (et généralement en deçà des VLEP), à l'exception des particules ultrafines. Il importe néanmoins de demeurer vigilant sur le fait que la fabrication additive utilisant des matières plastiques induit l'utilisation et l'émission de divers produits qui peuvent interagir entre eux. L'évaluation des risques associés à cette situation de polyexposition peut s'avérer complexe. Par ailleurs, pour certains produits émis tels que les particules ultrafines, il n'existe pas de VLEP réglementaire. Seules quelques valeurs seuils ont été recommandées pour certains nanomatériaux. Il peut s'avérer pertinent de comparer les concentrations obtenues à celles mesurées dans des industries (soudage, projection thermique) où des particules ultrafines sont émises ainsi que dans des entreprises où des polyexpositions existent.

POUR LA TECHNOLOGIE MÉTALLIQUE

En ce qui concerne les fils et poudres métalliques utilisés dans la fabrication additive, ils peuvent contenir de l'aluminium, du titane, du manganèse, du zinc, du tungstène, du niobium, du nickel, du cobalt, du fer, du cadmium... La majorité des poudres métalliques présente des risques pour la santé lors de l'exposition par inhalation ou par contact cutané. Les poudres contenant du nickel, cobalt, cadmium (au-dessus d'un certain seuil) peuvent avoir des effets cancérigènes (d'après le CLP – *Classification, labelling, packaging* – classement en catégorie 2 pour le nickel et catégorie 1B pour le cobalt et le cadmium). Le nickel et le cobalt sont susceptibles d'entraîner des phénomènes de sensibili-

sation respiratoire et/ou cutanée. De plus, même si le métal n'a pas d'effet spécifique sur la santé, la taille de la poudre peut être suffisamment fine pour être inhalée et provoquer une irritation des voies respiratoires. La taille initiale des particules est comprise entre $10\ \mu\text{m}$ et $50\ \mu\text{m}$. En revanche, lors du recyclage, des particules nanométriques ont été identifiées.

Les techniques utilisant de la poudre métallique sont, aujourd'hui, la fusion de poudres par laser, la projection de liant et le dépôt de matière sous énergie concentrée.

Les risques sont principalement liés à l'exposition des opérateurs aux poudres métalliques utilisées et à leurs produits d'oxydation et de dégradation (cobalt, cuivre, nickel, [11]), aux particules ultrafines émises à la source de la fabrication ainsi qu'au risque potentiel d'incendie et d'explosion.

FUSION SUR LIT DE POUDRES MÉTALLIQUES

Les concentrations en nickel mesurées se situent entre 12 et $99\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ces valeurs sont bien en deçà de la VLEP française, à savoir $1\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. En revanche, si elles sont comparées à la valeur limite proposée par l'Allemagne, qui est de $5\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, elles sont bien supérieures. De la même manière, les valeurs mesurées pour le cuivre sont d'environ $200\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, du même ordre de grandeur que la VLEP française, mais largement supérieures à la valeur limite proposée par l'Allemagne, qui est fixée à $10\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. La situation est encore plus préoccupante avec le cobalt, produit cancérigène et toxique pour la reproduction (catégorie 1B). Des concentrations voisines de $50\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ont été mesurées. Il n'existe pas de VLEP française pour ce produit alors que la valeur limite américaine est de

20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Le nombre de particules ultrafines enregistré sur opérateur est de $1,6\cdot 10^4 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$, cette valeur peut être comparée aux niveaux observés dans le soudage qui sont d'environ $4,8\cdot 10^5 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$. La concentration en particules ultrafines mesurée oscille entre 0,12 et 0,33 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ [12].

Outre les étapes de fabrication, les phases transitoires comme l'ouverture de la porte de la machine, le chargement de la poudre (alimentation de la machine), la récupération de la pièce, le parachèvement et la finition de la pièce sont particulièrement exposantes.

En conclusion, pour les procédés de fabrication additive utilisant des poudres métalliques, la comparaison des concentrations des produits utilisés et émis relevées dans l'atmosphère des lieux de travail aux VLEP préconisées en France mais également à l'étranger permet d'évaluer les risques pour chaque situation. Comme déjà évoqué dans le cas des technologies non métalliques, pour certains produits émis tels que les particules ultrafines, il n'existe pas de VLEP réglementaire. Seules quelques valeurs seuils ont été recommandées pour certains nanomatériaux. Concernant les particules ultrafines pour lesquelles il n'existe que quelques valeurs seuils pertinentes recommandées [13 à 15], il convient de demeurer vigilant et de rechercher les niveaux d'exposition les plus bas possibles.

DÉPÔT DE MATIÈRE SOUS ÉNERGIE CONCENTRÉE

Les émissions produites pour ce procédé ont été mesurées pour différents cycles d'usinage. Une approche multimétrique a été adoptée. Des mesures ont été faites pour deux compositions de poudre métallique différentes. À la source, dans l'enceinte de la machine, un

grand nombre de particules ultrafines ($10^6 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$, 0,3 à 1,3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a été mesuré, ce qui confirme le besoin d'une enceinte étanche. Les analyses des différents échantillons de particules métalliques ont confirmé la présence de chrome VI à la source (0,2 à 6 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Les résultats ont révélé de faibles niveaux d'exposition au chrome VI, sous forme d'échantillons individuels prélevés sur l'opérateur où des concentrations inférieures à la limite de quantification de 0,098 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ont été mesurées pour les deux alliages étudiés.

Le dépôt de matière sous énergie concentrée utilisant du fil métallique est une technologie qui a été peu étudiée, non pas parce qu'elle n'est pas développée mais parce qu'elle est très proche du soudage laser en termes de matières premières et d'émissions. L'évaluation des risques dans le cas de cette technologie se rapproche donc du soudage laser.

Malheureusement le nombre d'études et de mesures demeure limité et ne permet pas d'évaluer avec précision les risques liés à l'ensemble des technologies et des matières premières associées. Pour les cas qui se rapprochent des technologies déjà investiguées, un parallèle peut être effectué concernant les émissions et donc les risques. Pour les autres, il convient de limiter les expositions des opérateurs au niveau le plus bas possible.

LA PRÉVENTION DES RISQUES SPÉCIFIQUES

Les risques mécanique, électrique et liés aux rayonnements doivent être pris en compte lors de la conception de la machine en respectant les règles techniques prévues par la Directive Machine

2006/42 CE [3] transposées dans le Code du travail à l'Annexe I de l'article R. 4312-1. Les risques chimiques et le risque d'incendie et d'explosion sont quant à eux partiellement pris en compte dans ce cadre.

La démarche de prévention des risques chimiques s'applique de la même manière que pour toute autre activité industrielle en suivant les principes généraux de prévention.

LA SUBSTITUTION

Il s'agit de substituer, si c'est technologiquement possible, les produits les plus dangereux par des alternatives moins dangereuses. Dans le cas de l'extrusion de matière utilisant des fils plastiques, privilégier un polymère moins émissif comme le PLA ou l'ABS. Dans le cas de la fusion sur lit de poudres métalliques, utiliser préférentiellement les alliages à faible teneur notamment en nickel, cobalt et chrome. Pour les opérations annexes, quelle que soit la technologie, il est nécessaire de remplacer un solvant de nettoyage inflammable par un qui ne l'est pas.

LE TRAVAIL EN CIRCUIT FERMÉ

Il s'agit de travailler autant que possible en vase clos sur l'ensemble des étapes :

- utiliser des systèmes en vase clos pour l'alimentation et la récupération de la matière première dans le cas des machines utilisant une poudre ou un liquide ;
- effectuer les étapes de finition dans des boîtes à gants dès que le contexte le permet ;
- utiliser des machines déjà équipées d'une boîte à gants pour effectuer le maximum d'opérations avant l'ouverture.

Pour les machines étanches, il faut laisser un temps de temporisation après la fin de la production

pour éliminer tous les polluants par le système de filtration. Basé sur des mesures à lecture directe effectuées sur l'opérateur, la phase transitoire d'ouverture de la porte a pu être évaluée. Pour éviter une exposition de l'opérateur aux aérosols émis pendant la production, un délai d'une dizaine de minutes entre la fin du processus de fabrication et l'ouverture de la porte de l'enceinte, en association avec la présence d'un système de ventilation sur la machine, est recommandé. Les résultats soulignent également la nécessité de porter des équipements de protection individuelle notamment lorsqu'un opérateur doit accéder à l'enceinte de la machine [16].

LE CAPTAGE À LA SOURCE DES POLLUANTS

Dans les situations où le travail en vase clos n'est pas techniquement possible, l'emploi d'un dispositif d'aspiration avec captage au plus près de la source d'émission est nécessaire. Les vitesses d'air de transport dans les conduits doivent être adaptées aux polluants transportés. Pour les poudres, un minimum de 20 m.s^{-1} est requis afin d'éviter les dépôts dans les canalisations. L'air pollué doit être rejeté à l'extérieur, après traitement le cas échéant. Il est recommandé d'effectuer toutes les étapes de finition non réalisées en circuit fermé, dans une enceinte ventilée (cabine ventilée ou dossier aspirant). Pour la fabrication additive par photopolymérisation, il convient d'aspirer les vapeurs émises par les bacs de solvants. Pour la fabrication additive par extrusion de matières plastiques, il est nécessaire de capoter les machines puis ventiler et filtrer les émissions.

Par exemple, pour rappel, un des résultats d'une enquête réalisée lors d'une étude INRS conduite

entre 2016 et 2018 [2] indique que la proportion de machines qui ne possèdent pas de système d'aspiration raccordé à un système d'extraction est de 25 % dans le secteur des institutionnels de recherche, de 50 % dans celui des services et de 40 % dans le secteur industriel.

LA VENTILATION GÉNÉRALE ET L'APPORT D'AIR NEUF

En complément des systèmes de captage localisés, une ventilation générale doit être installée afin de fournir aux locaux de l'air neuf et de diluer les polluants résiduels. Le débit de compensation en air neuf doit prendre en compte le débit de la ventilation générale ainsi que les débits des différents systèmes de captage. L'air neuf ne doit, en aucun cas, provenir d'un local à pollution spécifique. De surcroît, la maîtrise des flux d'air permet d'aménager des locaux en dépression par rapport aux locaux contigus afin d'éviter aux polluants de diffuser dans les différentes pièces à proximité.

LES MESURES ORGANISATIONNELLES

Lors de l'acquisition d'une nouvelle machine, la possibilité de travailler au maximum en vase clos au niveau de la machine (boîte à gants intégrée, systèmes et outils de nettoyage intérieur intégrés...) doit être ajoutée au cahier des charges. L'objectif est de séparer les activités polluantes des activités moins exposantes. Les tâches polluantes doivent être effectuées sur des postes de travail aménagés pour diminuer l'exposition (captage, travail en enceinte fermée ou semi-fermée). En complément, l'accès aux locaux de fabrication additive doit être limité aux personnes habilitées. Une maintenance préventive sur les machines de fabrication additive (remplace-

ment des éléments d'étanchéité, des tuyaux souples...) permet de garantir l'efficacité des systèmes de protection mis en place.

LES ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE (EPI)

En complément des mesures de protection collective qui doivent être privilégiées, des EPI peuvent être utilisés. Il s'agit principalement de gants étanches aux poudres et aux solvants utilisés (gants en nitrile par exemple), d'appareils de protection respiratoire équipés de filtres anti-aérosols de type P2 ou P3 (selon la nature des poudres) combinés le cas échéant à des filtres anti-gaz (des appareils à ventilation assistée sont conseillés pour des durées de port supérieures à une heure), de vêtements de protection contre le risque chimique antistatiques étanches aux poudres (type 5) ainsi que des chaussures de sécurité antistatiques. En raison du risque d'incendie et d'explosion de certaines poudres, des EPI et vêtements de travail composés de tissu difficilement inflammable sont à privilégier.

LA FORMATION ET L'INFORMATION

Les salariés seront informés sur les risques inhérents aux procédés de fabrication additive mis en œuvre au sein de l'entreprise et plus particulièrement sur les dangers associés aux machines et aux produits utilisés et émis. Ils doivent être formés à l'utilisation des moyens de protection collective et individuelle et à celle des moyens d'extinction des incendies (extincteurs notamment) mis en place ainsi que sur la démarche à adopter en cas de survenue d'un sinistre (urgence médicale, incendie...).

LE RÔLE DES SERVICES DE SANTÉ AU TRAVAIL

Le service de santé au travail a un rôle important à jouer dans le cadre de la prévention des risques liés aux nouvelles technologies, en particulier celle de la fabrication additive. Dans ce contexte de technologies émergentes, son action est fondamentale, tant du point de vue de l'information et du conseil des employeurs, des salariés et de leurs représentants sur les risques et les mesures de prévention nécessaires, que du suivi de l'état de santé des salariés intervenant lors des différentes phases des procédés.

Les particularités de la fabrication additive doivent être prises en compte, afin d'adapter l'information et les préconisations en fonction de chaque procédé, des matières premières utilisées, des émissions potentielles et des autres risques associés. En effet, la problématique ne doit pas être considérée uniquement sous l'angle des seules expositions chimiques, certains autres risques tels que la manutention manuelle ou le risque d'incendie/explosion pouvant être importants, notamment lors de la manipulation de poudres métalliques.

Concernant le suivi médico-professionnel des salariés, la réglementation ne prévoit pas de disposition spécifique dans le secteur de la fabrication additive. D'une façon générale, les modalités du suivi sont déterminées au cas par cas par le médecin du travail en fonction de l'état de santé des salariés, de la nature des nuisances et des données permettant d'apprécier les niveaux d'exposition, notamment la métrologie et la surveillance biologique des expositions si celle-ci s'avère pertinente. La base de données

Biotox (www.inrs.fr/biotox) permet, le cas échéant, d'accéder à l'ensemble des informations (indicateurs biologiques d'exposition, valeurs guides, données des laboratoires, facteurs à prendre en compte lors de l'interprétation des résultats...) nécessaires pour la mise en place d'une campagne de biométrie.

Un suivi individuel renforcé doit être mis en place pour les salariés exposés à des agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction de catégorie 1A ou 1B, qui peuvent se rencontrer en particulier dans les procédés de fabrication additive métallique (notamment certains composés du cobalt, du cadmium, du chrome et du nickel). L'inventaire des classifications de l'Agence européenne des produits chimiques (<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals>) permet de repérer les agents entrant dans ces catégories.

La prévention des allergies professionnelles cutanées et/ou respiratoires nécessite une attention particulière. Les antécédents d'allergies et les sensibilisations connues à certains composés manipulés ou générés dans le cadre des procédés de fabrication additive métallique ou non métallique doivent être recherchés lors des visites médicales. Par précaution, il est souhaitable d'éviter d'affecter les salariés présentant des allergies connues au nickel, au cobalt ou au méthacrylate de méthyle à des postes les exposant à de telles substances. Plusieurs fiches d'allergologie professionnelle publiées par l'INRS (<https://www.rst-sante-travail.fr/rst/outils-reperes/allergologie.html>) concernent des agents manipulés ou émis dans le cadre de la fabrication additive, en particulier les métaux et les matières plastiques.

Le cas particulier des salarié(e)s souhaitant avoir des enfants et des femmes enceintes constitue également un enjeu en termes de prévention et doit être considéré dans le cadre d'une approche multirisque (chimiques, charge physique, contraintes organisationnelles...). Le médecin du travail rappellera à l'employeur la nécessité d'anticiper et d'intégrer ces questions à l'évaluation des risques formalisée dans le document unique. Hommes et femmes doivent être encouragé(e)s à contacter leur médecin du travail en cas de projet de procréation. L'intérêt d'une déclaration précoce de l'état de grossesse à l'employeur doit être rappelé aux femmes en âge de procréer, en insistant sur le fait que les mesures réglementaires visant à protéger la femme enceinte ne s'appliquent qu'une fois la grossesse déclarée. Ces recommandations prennent tout leur sens pour les salariés intervenant sur des procédés de fabrication additive où des expositions à des agents mutagènes et/ou toxiques pour la reproduction ne peuvent être exclues (oxyde de nickel, cadmium, styrène...). Les fiches toxicologiques de l'INRS (www.inrs.fr/fichetox) et les fiches Demeter (www.inrs.fr/demeter) apportent des informations détaillées sur la toxicité des substances et, en particulier, sur les dangers pour la reproduction ainsi que des conduites à tenir en fonction des différents contextes d'exposition (fertilité, grossesse, allaitement). Idéalement, l'impact éventuel de certaines situations de polyexpositions devrait être considéré. Dans ce cadre, l'outil MiXie France (<https://www.inrs.fr/publications/outils/mixie.html>) constitue une aide intéressante permettant de repérer les effets additifs potentiels d'un mélange de subs-

tances, et ce, que l'on dispose ou non de mesures de concentrations atmosphériques.

S'agissant de technologies nouvelles, exposant à des nuisances comme les particules ultrafines, dont les effets sur la santé sont encore à ce jour imparfaitement connus, la traçabilité des informations est particulièrement importante. Les données permettant de documenter les expositions doivent être consignées dans le dossier médical, en vue d'une éventuelle exploitation ultérieure, ce d'autant que des effets différés, notamment cancérogènes, ne peuvent être exclus, en particulier dans le cadre de certains procédés de fabrication additive métallique.

Enfin, les salariés doivent être informés de l'intérêt et des modalités de la mise en œuvre d'un suivi médical post-exposition, en cas d'exposition documentée à certains agents chimiques. Dans ce cadre, le médecin du travail peut notamment se référer aux recommandations de bonne pratique publiées en 2015 concernant la surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérogènes pulmonaires [17].

CONCLUSION

Sans oublier que l'ensemble des risques doit être évalué, cet article a pour objectif d'informer sur ceux spécifiques associés à la fabrication additive qui – comme cela a été mentionné – ne sont pas communs à tous les procédés rencontrés dans l'industrie et dépendent de la technologie et des matières premières mises en œuvres. Les risques chimiques sont ainsi particulièrement détaillés et il est important de noter qu'ils peuvent provenir des produits utilisés mais également des produits émis lors des différentes étapes de fabrication. Certains procédés semblent peu émissifs sauf pour les particules nanométriques.

Il convient de mettre en place des mesures de prévention adaptées, notamment un captage à la source des polluants utilisés et émis avec une filtration associée.

Le suivi médical des salariés doit intégrer des éléments relatifs à l'information sur les risques et les mesures de prévention nécessaires, au suivi clinique et paraclinique, ainsi qu'à la traçabilité des expositions. Certaines expositions à des agents chimiques CMR peuvent faire l'objet de recommandations spécifiques et justifier d'un suivi individuel renforcé.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | **KELLER FX, RICAUD M, PATRASCU C** - Fabrication additive ou impression 3D utilisant des matières plastiques. Fiche pratique de sécurité ED 148. Paris : INRS ; 2020 : 6 p.
- 2 | **KELLER FX, BAU S, ROUSSET D** - Caractérisation des émissions des machines de fabrication additive. Etude d'instruction EL2017-002. INRS, 2017 (<https://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/etude.html?refINRS=EL2017-002>).
- 3 | Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE (refonte) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). In: EUR-Lex. Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2006 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0042&qid=1614779942408>).
- 4 | **STEPHENS B, AZIMI P, EL ORCH Z, RAMOS T** - Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. *Atmos Environ*. 2013 ; 79 : 334-39.
- 5 | **STEINLE P** - Characterization of emissions from a desktop 3D printer and indoor air measurements in office settings. *J Occup Environ Hyg*. 2016 ; 13 (2) : 121-32.
- 6 | **WEBER R** - Characterization of Chemical and Particle Emissions from Consumer FDM 3D Printers. In: Proceedings of the Safety Science of 3D Printing Summit. February 22-23, 2017. Atlanta, GA. Georgia Tech, Emory University, 2017 (https://chemicalinsights.org/wp-content/uploads/2017/06/3DP_Proceedings_Final.pdf).
- 7 | **STEFANIAK A** - Chemical Emissions from a Desktop 3D Printer. In: Proceedings of the Safety Science of 3D Printing Summit. February 22-23, 2017. Atlanta, GA. Georgia Tech, Emory University, 2017 (https://chemicalinsights.org/wp-content/uploads/2017/06/3DP_Proceedings_Final.pdf).
- 8 | **STEFANIAK AB, JOHNSON AR, DU PREEZ S, HAMMOND DR ET AL.** - Evaluation of emissions and exposures at workplaces using desktop 3-dimensional printer. *J Chem Health Saf*. 2019 ; 26 (2) : 19-30.
- 9 | **AFSHAR-MOHAJER N, WU CY, LADUN T, RAJON DA ET AL.** - Characterization of particulate matters and total VOC emissions from a binder jetting 3D printer. *Build Environ*. 2015 ; 93 (Part 2) : 293-301.
- 10 | Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (VGAI). Présentation et travaux de l'Agence. ANSES, 2020 (<https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>).
- 11 | **BEISSER R, BUXTROP M, FENDLER D, HOHENBERGER L ET AL.** - Inhalative Exposition gegenüber Metallen bei additiven Verfahren (3D-Druck). *Gefahrst Reinhalt Luft*. 2017 ; 77 (11/12) : 487-96.
- 12 | **GRAFF P, STÄHLBOM B, NORDENBERG E, GRAICHEN A ET AL.** - Evaluating Measuring Techniques for Occupational Exposure during Additive Manufacturing of Metals: A Pilot Study. *J Ind Ecol*. 2016 ; 21 (S1) : S120-S29.
- 13 | **BINET S, BELUT E, CHAZELET S, GATÉ L ET AL.** - Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle. Grand angle TC 168. *Réf Santé Trav*. 2020 ; 161 : 19-38.
- 14 | **CHAZELET S, FONTAINE JR, BINET S, GATÉ L ET AL.** - Dioxyde de titane nanométrique : de la nécessité d'une valeur limite d'exposition professionnelle. Notes techniques NT 36. *Hyg Sécur Trav*. 2016 ; 242 : 46-51.
- 15 | **RICAUD M (Ed)** - Nanomatériaux : définition, identification et caractérisation des matériaux et des expositions professionnelles associées. Dossier DO 26. *Hyg Sécur Trav*. 2019 ; 256 : 26-68.
- 16 | **BAU S, ROUSSET D, PAYET R, KELLER FX** - Characterizing particle emissions from a direct energy deposition additive manufacturing process and associated occupational exposure to airborne particles. *J Occup Environ Hyg*. 2020 ; 17 (2-3) : 59-72.
- 17 | Surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérogènes pulmonaires. Octobre 2015. Pratiques et métiers TM 36. *Réf Santé Trav*. 2016 ; 145 : 65-110.

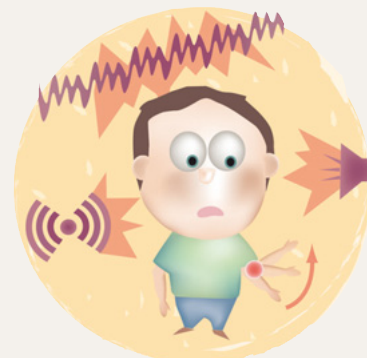
3

OUTILS REPÈRES

P. 143 VOS QUESTIONS/NOS RÉPONSES

Vos questions / nos réponses

Travail en 3x8 : peut-on limiter les effets sur la santé ?



La réponse de Laurence Weibel, département Études et assistance médicales de l'INRS

Annule et remplace la QR 50 parue en 2011.

Quels sont les effets sur la santé du travail posté en 3x8 ? Afin de limiter ces derniers, la luminothérapie peut-elle aider à « recaler » les rythmes ?

Impact sanitaire du travail posté/nuit

Le travail de nuit quel qu'il soit (3x8, 4x8, 5x8, 2x12, travail de nuit permanent...) bouleverse les mécanismes biologiques (rythmes de veille et de sommeil, de repas, de sécrétions hormonales...) et l'organisation temporelle de la vie sociale et familiale. Sur un plan biologique, les salariés travaillant la nuit (posté ou fixe) vont cumuler les effets néfastes liés à la désorganisation circadienne et à une dette chronique de sommeil. Les effets sur la santé du travail posté/de nuit sont de mieux en mieux connus. Ce sont des troubles du sommeil et de la vigilance, un accroissement du nombre d'accidents, des risques cancérigènes, des troubles cardiovasculaires, des troubles digestifs et métaboliques et des troubles de la santé psychique [1].

Donc quelle que soit son organisation, le travail posté et/ou de nuit aura des répercussions sur la santé des individus qui le pratiquent. Cependant il y a des organisations de travail posté plus pathogènes que d'autres [2], et le cycle en 3x8 n'est pas le cycle à privilégier.

Impact biologique du 3x8

Les effets du travail de nuit et du travail posté sur les sécrétions hormonales ont été largement étudiés [3 à 9]. L'ensemble des études montrent que les travailleurs de nuit, même permanents, n'adaptent que rarement totalement leur système circadien à leur travail nocturne. La grande variabilité d'adaptation est la règle (tableau I), avec des dissociations de certains marqueurs endocriniens et des rythmes qui se trouvent désynchronisés les uns des autres. C'est ce qu'on appelle les désynchronisations internes, mécanismes aujourd'hui suspectés comme étant à l'origine des troubles et pathologies des travailleurs de nuit [1,10].

TABLEAU I : Résumé des principales études investiguant l'adaptation du rythme de mélatonine chez des travailleurs de nuit permanents (d'après [4])

| Études | Conditions d'éclairage | Nombre de participants | | Nombre de travailleurs de nuit permanents montrant une adaptation | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------|---|----------|
| | | Hommes | Femmes | partielle | complète |
| Waldhauser et al. (1986) | Normales | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Sack et al. (1992) | Diminuées | 2 | 8 | 3 | 0 |
| Roden et al. (1993) | Normales | 9 | 0 | 1 | 0 |
| Koller et al. (1994) | Normales | 14 | 0 | 2 | 1 |
| Weibel et al. (1997) | Diminuées | 11 | 0 | 4 | 0 |
| Dumont et al. (2001) | Diminuées | 3 | 27 | 5 | 1 |
| Total | | 41 | 35 | 16 | 2 |

Concernant l'application en prévention, les études expérimentales enseignent qu'il faut un minimum de 3 nuits de travail consécutives avant d'altérer la phase du système circadien : c'est en effet à partir de la 3^e nuit consécutive que des états de désynchronisation sont objectivés [5, 6, 9].

C'est pour viser ces absences de désynchronisations que la préconisation de rotations très courtes (2 jours/nuite max) est proposée plutôt que l'instauration d'un travail type 3x8 qui oblige le système circadien à des rephasages tous les 5 jours/nuits et expose périodiquement l'organisme à des états de désynchronisation interne. D'un point de vue biologique, le travail posté en 3x8 est donc extrêmement péjoratif.

Impact social du 3x8

Si les effets du travail de nuit et/ou du travail posté sur la santé ont été relativement documentés dans la littérature scientifique, il n'en va pas de même pour ce qui est de leurs effets sur la vie hors travail des salariés.

Les quelques études analysées dans le cadre de l'expertise de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) montrent que le travail posté/de nuit crée une limitation de la vie sociale en raison de la discordance temporelle entre le rythme de vie du travailleur posté/de nuit et le rythme de l'ensemble de la société (limitation des loisirs, activités sportives ou culturelles effectuées en solitaire, réduction du réseau relationnel et amical). Des conséquences sur la vie de couple peuvent également surgir : un temps limité de rencontre et de partage, une altération des relations conjugales, l'émergence de conflits de rôle encore plus vivement ressentis par les conjoints que par les salariés eux-mêmes. Les recherches relatives aux répercussions des horaires postés sur les relations

entre les travailleurs et leurs enfants font apparaître une diminution de la fréquence et de la durée des interactions familiales, de la qualité perçue de la parentalité et une détérioration de la nature et de la qualité des fonctions parentales. Par contre, le 3x8, puisqu'il n'inclut pas de week-end aura un impact plus limité sur la vie sociale (en comparaison au 4x8, 5x8...).

Luminothérapie pour resynchroniser

La lumière est le synchroniseur principal de l'horloge biologique. L'exposition à la lumière est anarchique chez les travailleurs de nuit, ce qui a des impacts sur leur système circadien et sur la santé/sécurité.

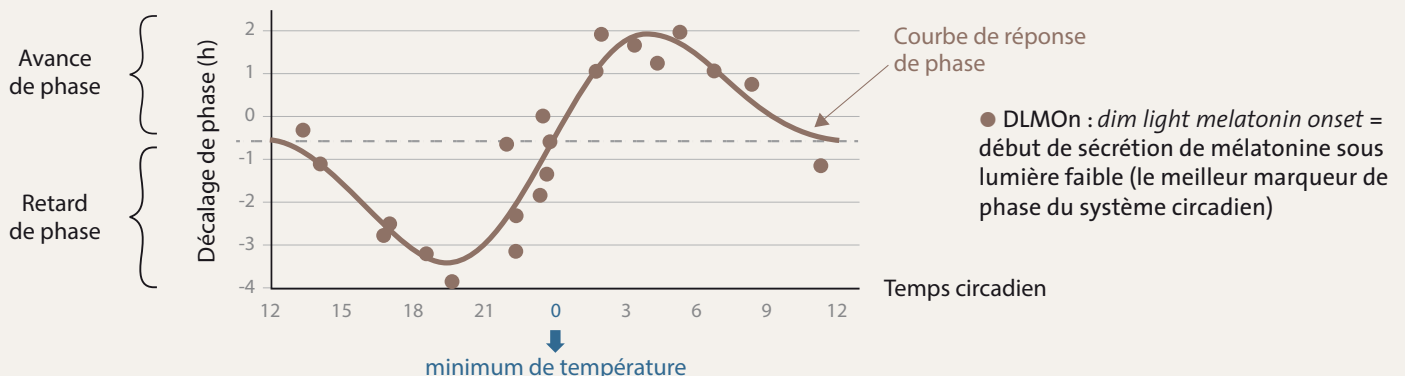
La luminothérapie ou photothérapie est un traitement des troubles circadiens veille-sommeil dont les bases physiologiques sont aujourd'hui bien décrites. La luminothérapie se fait avec des lampes de haute intensité. Cette technique est potentiellement indiquée dans les syndromes d'avance et de retard de phase, les rythmes différents de 24 heures, et les décalages horaires (*jet-lag*, niveau de preuve limité pour le travail posté) [11, 12].

Les effets (et donc l'efficacité) de la luminothérapie dépendent de 5 paramètres : le *timing* (à quelle heure ?), l'intensité (combien de lux ?), la durée (pendant combien de temps ?), le spectre (quelle longueur d'onde ?) et l'historique lumineux (la réponse à la lumière est modifiée par l'exposition préalable à la lumière).

Le paramètre qui va principalement poser problème dans l'utilisation de la lumière pour « recaler » le système circadien chez les travailleurs de nuit est le *timing*. En effet la lumière n'a pas le même effet sur l'horloge biologique selon le moment des 24h où elle est appliquée : on parle de courbe de réponse de phase (figure 1).

Basées sur cette courbe de réponse de phase, des stratégies théoriques préconisées pour « recaler »

Figure 1 : *Timing* de la luminothérapie et décalage de phase induit (d'après [13])



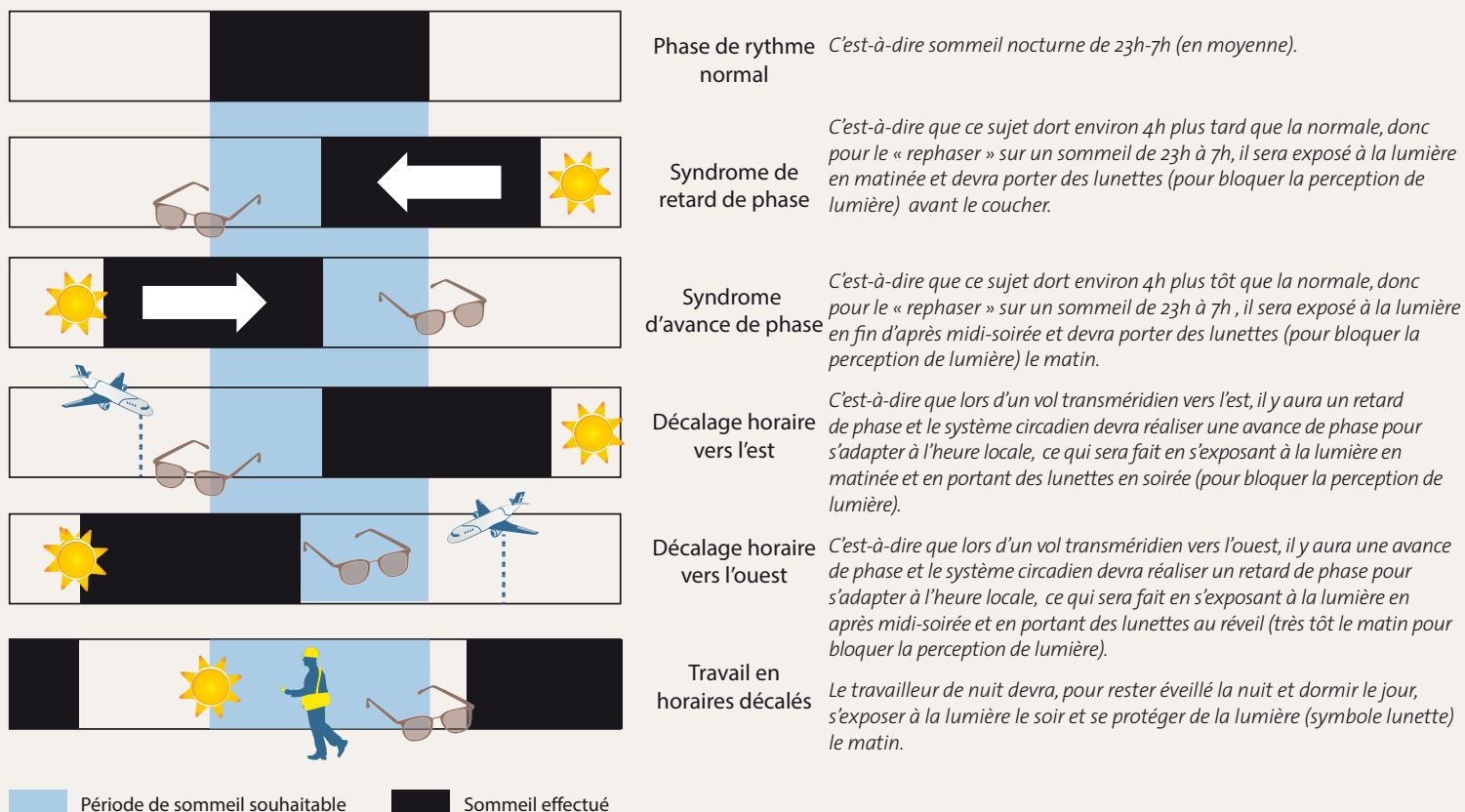
L'exposition à la lumière avant le minimum de température va retarder la phase du système circadien et, inversement, l'exposition à la lumière après le minimum de température va l'avancer.

le système circadien en fonction du trouble ont été élaborées (figure 2, travailleurs postés en bas de graphe). Il est à noter que ce schéma théorique part du principe que le travailleur posté est adapté à son travail nocturne, ce qui, comme expliqué plus haut, est rarement le cas.

En laboratoire (c'est-à-dire en situation très contrôlée), de nombreuses études ont validé l'utilisation de la lumière pour « manipuler » la phase de l'horloge circadienne lors d'expérimentations extrêmement contrôlées de simulation d'un travail de nuit [15, 16]. Dans la vie réelle, on ne peut pas maîtriser l'ensemble des expositions lumineuses, ce qui explique sans doute, en partie, comme mentionné plus haut, que l'adaptation complète du système circadien n'est que très rarement obtenue chez les travailleurs de nuit. C'est plutôt la grande variabilité d'adaptation qui prime [3, 7, 8, 17, 18]. Ce qui, concrètement, veut dire qu'utiliser la luminothérapie comme stratégie pour « recalibrer » des travailleurs postés présupposerait une identification préalable de la phase du système circadien pour chaque individu et à chaque changement potentiel de phase (soit tous les 3 jours environ dans un 3x8 comme expliqué précédemment). Il est aisément compréhensible qu'une telle stratégie est peu pertinente/applicable en entreprise.

En fait, la seule stratégie pour atténuer les effets d'un 3x8, c'est d'accompagner l'entreprise vers un changement de rythme : 2x8 et équipe de nuit permanente ou instauration d'un cycle de rotation rapide (avec un maximum de 2 nuits consécutives) [2]. Cet accompagnement devra bien évidemment associer les salariés et le Comité social et économique (CSE) ou la Commission santé sécurité et conditions de travail (CSST). En effet, les préférences des salariés pour l'une ou l'autre des fréquences d'alternance intégreront des aspects de conciliation avec leur vie sociale et familiale. Ces aspects sont à intégrer car ils participent à la tolérance des salariés au travail en horaires atypiques [1]. L'enquête Conditions de travail 2013 met en évidence que l'information, la consultation et surtout la prise en compte de l'avis des salariés lors de changements organisationnels réduisent très significativement les risques d'atteintes à la santé [19]. Cette règle protectrice s'applique également dans le cadre du choix des horaires et des rythmes de travail des salariés en horaires atypiques : plus on associe les salariés au choix et plus on tient compte de leur avis, meilleure sera la tolérance au travail posté [20 à 22].

Figure 2 : Les principes de resynchronisation par la lumière des troubles du rythme veille-sommeil (d'après [14])



BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Évaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. ANSES, 2016 (www.anses.fr/fr/content/l%E2%80%99anses-confirme-les-risques-pour-la-sant%C3%A9-li%C3%A9s-au-travail-de-nuit).
- 2 | Le travail de nuit et le travail posté. Quels effets ? Quelle prévention ? Édition INRS ED 6305. Paris : INRS ; 2018 : 6 p.
- 3 | WEIBEL L - Effets de décalages du cycle veille-sommeil sur les rythmes biologiques chez l'homme. Thèse de doctorat en Neurosciences. Strasbourg : Université de Strasbourg ; 1996 : 229 p.
- 4 | FOLKARD S - Do permanent night workers show circadian adjustment? A review based on the endogenous melatonin rhythm. *Chronobiol Int.* 2008 ; 25 (2) : 215-24.
- 5 | JENSEN MA, ÅSE MH, KRISTIANSEN J, NABE-NIELSEN K ET AL. - Changes in the diurnal rhythms of cortisol, melatonin, and testosterone after 2, 4, and 7 consecutive night shifts in male police officers. *Chronobiol Int.* 2016(a) ; 33 (9) : 1280-92.
- 6 | JENSEN MA, GARDE AH, KRISTIANSEN J, NABE-NIELSEN K ET AL. - The effect of the number of consecutive night shifts on diurnal rhythms in cortisol, melatonin and heart rate variability (HRV): a systematic review of field studies. *Int Arch Occup Environ Health.* 2016(b) ; 89 (4) : 531-45.
- 7 | WEIBEL L, SPIEGEL K, FOLLENIUS M, EHRHART J ET AL. - Internal dissociation of the circadian markers of the cortisol rhythm in night workers. *Am J Physiol.* 1996 ; 270 (4 Pt 1) : E608-13.
- 8 | WEIBEL L, SPIEGEL K, GRONFIER C, FOLLENIUS M ET AL. - Twenty-four-hour melatonin and core body temperature rhythms: their adaptation in night workers. *Am J Physiol.* 1997 ; 272 (3 Pt 2) : R948-54.
- 9 | WEIBEL L, GABRION I, AUSSEDT M, KREUTZ G - Impact of a fast rotating work schedule on biological rhythms in nurses: results from a field study. 8th Meeting Society for Research on Biological Rhythms, Jacksonville, USA, 20-26 Mai, 2002.
- 10 | STRAIF K, BAAN R, GROSSE Y, SECRETAN B ET AL. - Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol.* 2007 ; 8 (12) : 1065-66.
- 11 | GRONFIER C - Le rôle et les effets physiologiques de la lumière : sommeil et horloge biologique dans le travail de nuit et posté. *Arch Mal Prof Environ.* 2009 ; 70 (3) : 253-61.
- 12 | LÉGER D, DUFOREZ F, GRONFIER C - Le traitement par la lumière des troubles circadiens du rythme veille-sommeil. *Presse Méd.* 2018 ; 47 (11-12 Pt 1) : 1003-09.
- 13 | KHALSA SBS, JEWETT ME, CAJOCHEN C, CZEISLER CA - A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *J Physiol.* 2003 ; 549 (Pt 3) : 945-52.
- 14 | Les principes de traitement des troubles du rythme circadien veille-sommeil-résumé. Diapositive 134. In: Schröder CM - D.U. Insomnie. Les troubles du rythme circadien veille-sommeil. Hôpitaux Universitaires de Strasbourg, Université de Strasbourg, CNRS (<https://fr.slideshare.net/RESEAU-MORPHEE/cs-du-insomnie-tr-rythmes-circadiens-050122014>).
- 15 | BOIVIN DB, JAMES FO - Circadian adaptation to night-shift work by judicious light and darkness exposure. *J Biol Rhythms.* 2002 ; 17 (6) : 556-67.
- 16 | CUESTA M, BOUDREAU P, CERMAKIAN N, BOIVIN DB - Rapid resetting of human peripheral clocks by phototherapy during simulated night shift work. *Sci Rep.* 2017 ; 7 (1) : 16310.
- 17 | RODEN M, KOLLER M, PIRICH K, VIERHAPPER H ET AL. - The circadian melatonin and cortisol secretion pattern in permanent night shift workers. *Am J Physiol.* 1993 ; 265 (1 Pt 2) : R261-67.
- 18 | SACK RL, BLOOD ML, LEWY AJ - Melatonin rhythms in night shift workers. *Sleep.* 1992 ; 15 (5) : 434-41.
- 19 | COUTROT T - Changements organisationnels : la participation des salariés protège-t-elle du risque dépressif ? *Dares Anal.* 2017 ; 061 : 1-7.
- 20 | BARTON J - Choosing to work at night: a moderating influence on individual tolerance to shift work. *J Appl Psychol.* 1994 ; 79 (3) : 449-54.
- 21 | COSTA G, SARTORI S, AKERSTEDT T - Influence of flexibility and variability of working hours on health and well-being. *Chronobiol Int.* 2006 ; 23 (6) : 1125-37.
- 22 | TUCKER P, BEJEROT E, KECKLUND G, ARONSSON G ET AL. - The impact of work time control on physicians' sleep and well-being. *Appl Ergon.* 2015 ; 47 : 109-16.

Vos questions / nos réponses

Typhoïde : y a-t-il une obligation vaccinale ?

La réponse du Dr Dominique Abiteboul, département Études et assistance médicales de l'INRS



Une technicienne de laboratoire va être embauchée en laboratoire d'analyses médicales. Y a-t-il toujours une obligation de vaccination contre la typhoïde pour ce type d'activité ?

La vaccination contre la typhoïde n'est plus obligatoire pour les professionnels des laboratoires d'analyses de biologie médicale. En effet, cette obligation prévue par le Code de la Santé publique (art L. 3111-4) pour les personnels exposés des laboratoires d'analyses médicales a été suspendue par le décret du 4 janvier 2020 [1] après avis de la Haute Autorité de santé [2].

Cette décision repose sur plusieurs arguments :

- la fièvre typhoïde, maladie à transmission digestive endémique dans les pays à faible niveau d'hygiène, est devenue rare en France métropolitaine (une centaine de cas par an), où elle est le plus souvent importée [3], d'où la faible probabilité de manipuler un échantillon biologique (selles) contenant *Salmonella typhi* ;
- les cas de typhoïdes liés à une transmission professionnelle en laboratoires étaient historiquement fréquents, mais sont devenus exceptionnels [3]. Aucun cas n'a été reconnu en maladie professionnelle depuis 2012. Cette évolution est liée aux bonnes pratiques de laboratoires et aux mesures de confinement adaptées mises en place, notamment pour les manipulations des cultures sous poste de sécurité microbiologique (PSM) [4].

Le vaccin (Typhim Vi®), qui s'administre en une dose, a une efficacité incomplète (entre 55 et 70 %) et doit être renouvelé tous les 3 ans [5]. Une évaluation du risque au poste de travail est néanmoins essentielle. *Salmonella typhi* est un agent biologique pathogène du groupe 3*, l'astérisque signifiant qu'il n'est normalement pas transmissible par l'air [6]. Seuls les professionnels qui manipulent des selles peuvent être exposés au risque. Les transmissions par voie digestive sont potentiellement possibles : ingestion accidentelle par l'intermédiaire de mains souillées

ou par projection de produit biologique contaminé au niveau de la bouche. Comme souligné plus haut, ces situations sont devenues exceptionnelles dans les conditions actuelles de manipulation. Il faut néanmoins rappeler l'importance du respect scrupuleux des bonnes pratiques de laboratoires tels que ne pas fumer ni manger dans les pièces de techniques, ne pas pipeter à la bouche ni renifler les cultures, avoir une hygiène rigoureuse des mains, porter des gants et une tenue de protection... (voir détails en **annexe**). Tous les ensemencements et les manipulations de cultures doivent être faits sous poste de sécurité microbiologique (PSM).

Une conduite à tenir en cas d'exposition accidentelle doit être élaborée [3, 7]. Une procédure en cas de déversement accidentel en laboratoire doit également être prévue et affichée. Toutes ces mesures doivent faire l'objet d'une formation initiale et d'informations régulières des personnels exposés en lien avec le Service de santé au travail et le Comité social économique.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Décret n° 2020-28 du 14 janvier 2020 relatif à l'obligation vaccinale contre la fièvre typhoïde des personnes exerçant une activité professionnelle dans un laboratoire de biologie médicale. In: Légifrance. Ministère chargé de la Santé, 2020 (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041405845/>).
- 2 | Décret n° 2020-28 du 14 janvier 2020 relatif à l'obligation vaccinale contre la fièvre typhoïde des personnes exerçant une activité professionnelle dans un laboratoire de biologie médicale. In: Légifrance. Ministère chargé de la Santé, 2020 (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041405845/>).
- 3 | Avis n° 2019.0062/AC/SEESP du 4 décembre 2019 du collège de la Haute Autorité de santé portant sur le projet de décret relatif à l'obligation vaccinale contre la fièvre typhoïde des personnes exerçant dans un laboratoire de biologie médicale.

Haute Autorité de santé (HAS), 2019 (https://www.has-sante.fr/jcms/p_3136015/fr/avis-n2019-0062/ac/seesp-du-4-decembre-2019-du-college-de-la-haute-autorite-de-sante-portant-sur-le-projet-de-decret-relatif-a-l-obligation-vaccinale-contre-la-fievre-typhoide-des-personnes-exercant-dans-un-laboratoire-de-biologie-medicale).

3 | Fièvre typhoïde. In: EFICATT. INRS, 2014 (<https://www.inrs.fr/eficatt>).

4 | Arrêté du 16 juillet 2007 fixant les mesures techniques de prévention, notamment de confinement, à mettre en œuvre dans les laboratoires de recherche, d'enseignement, d'analyses, d'anatomie et cytologie pathologiques, les salles d'autopsie et les établissements industriels et agricoles où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des agents biologiques pathogènes. In: Légifrance. Ministère chargé de l'Agriculture, du Travail et de la Santé, 2007 (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT00000465273/>).

5 | JAKSON BR, IQBAL S, MAHON B - Updated recommendations for the use of typhoid vaccine. Advisory Committee on Immunization Practices, United States, 2015. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2015 ; 64 (11) : 305-08.

6 | Classement des agents biologiques. Texte officiel TO 28. *Réf Santé Trav.* 2018 ; 154 : 19-26.

7 | BAYEUX-DUNGLAS MC., ABITEBOUL D - Que faire en cas de maladie contagieuse en milieu de travail ? Pratiques et métiers TM 51. *Réf Santé Trav.* 2019 ; 158 : 95-101.

ANNEXE : MESURES TECHNIQUES GÉNÉRALES DE PRÉVENTION, NOTAMMENT DANS LES LABORATOIRES D'ANALYSES DE BIOLOGIE MÉDICALE* [4]

a) Conception

1. Aménagement pour le rangement des vêtements de protection et des équipements de protection individuelle, séparé de celui réservé aux effets personnels des travailleurs. Le vestiaire destiné aux effets personnels est localisé en dehors de la salle dédiée aux activités techniques.

2. Signalisation par le pictogramme « danger biologique ».

3. Accès limité aux seuls travailleurs autorisés.

4. Salle dédiée aux activités techniques séparée des autres locaux par au moins une porte verrouillable.

5. Ventilation des salles dédiées aux activités techniques assurée par un dispositif de ventilation mécanique, conformément à l'article R. 4222-11 du Code du travail.

6. Présence d'une fenêtre d'observation ou d'un système équivalent permettant de voir les occupants.

7. Moyens de communication avec l'extérieur (ex. : téléphone).

b) Aménagements internes des salles dédiées aux activités techniques

1. Surfaces de paillasse imperméables à l'eau, résistantes aux acides, bases, solvants, désinfectants.

2. Lave-mains à déclenchement non manuel.

3. Moyens de lutte efficaces contre les vecteurs, par exemple rongeurs et insectes.

c) Pratiques opératoires dans les salles dédiées aux activités techniques

1. Organisation du travail et procédures

● Mise en œuvre de techniques réduisant au niveau aussi bas que

possible la formation d'aérosols et de gouttelettes.

● Existence de zones distinctes, sécurisées, dédiées et clairement indiquées pour la conservation des échantillons, des milieux contenant des agents pathogènes, des corps et des cadavres d'animaux.

● Décontamination du matériel et des équipements susceptibles d'être contaminés (centrifugeuse, fermenteur, poste de sécurité microbiologique, dispositif de ventilation et de climatisation...) avant toute autre intervention de maintenance pouvant entraîner un risque biologique pour l'opérateur. Communication aux intervenants de maintenance d'un document attestant de la décontamination.

● Mise en place de système de confinement approprié et validé pour le transport des échantillons à l'intérieur de l'établissement.

Modalités de transport des échantillons à l'extérieur de l'établissement en conformité avec la réglementation.

● Marquage avant enlèvement des cadavres d'animaux suspects d'être contaminés par des agents biologiques des groupes 3 ou 4, ou de leur contenant (mention de la maladie présumée).

● En vue de l'élimination et conformément à la réglementation, utilisation de conteneurs spécifiques :

- pour les aiguilles contaminées, les objets piquants ou tranchants souillés ;

- pour les déchets d'activité de soins à risques infectieux et assimilés.

● Utilisation chaque fois qu'il est possible de matériel à usage unique.

● Présence d'un équipement de base spécifique à la salle dédiée aux activités techniques (matériel identifié).

● Mise en place de procédures écrites décrivant les méthodes de travail et les mesures de protection et de prévention visant à protéger les travailleurs contre les risques biologiques, incluant la liste des opérations devant être effectuées sous poste de sécurité microbiologique.

● Mise en place de procédures écrites définissant des moyens et méthodes de nettoyage et de désinfection appropriés.

● Information et formation pour toute personne intervenant dans les salles dédiées aux activités techniques, y compris le personnel chargé du nettoyage et de la maintenance, conformément aux dispositions des articles R. 4424-3 à R. 4424-6 et R. 4512-2 à R. 4512-5 du Code du travail.

2. Protections individuelles

● Port de vêtements de protection et de chaussures différents des vêtements de ville et réservés aux salles dédiées aux activités techniques.

● Port d'équipements de protection individuelle (gants à usage unique, gants anticoupures, sur-chaussures, lunettes de protection, appareil de protection respiratoire...) en fonction des résultats de l'évaluation des risques.

3. Règles d'hygiène

● Interdiction de manger, de boire, de fumer, de se maquiller et de manipuler des lentilles de contact.

● Interdiction de pipeter à la bouche et de procéder à un examen olfactif des cultures.

* Pour les laboratoires d'analyses de biologie médicale, ces dispositions s'appliquent sans préjudice des dispositions prévues par l'arrêté du 26 novembre 1999.

Agenda

À noter que les dates sont susceptibles d'être modifiées en raison de la crise sanitaire. Pour plus d'informations, il est conseillé de consulter régulièrement les sites Internet.

25-28 MAI 2021

PARIS (France)

16^e Congrès francophone d'allergologie

Thème :

→ Le tour du monde des allergies !

RENSEIGNEMENTS

<https://register.congres-allergologie.com/>

24-25 JUIN 2021

LAUSANNE (Suisse)

Colloque de l'Association pour le développement des études et recherches épidémiologiques en santé au travail (ADEREST)

RENSEIGNEMENTS

<https://www.aderest.org/>

6-9 JUILLET 2021

PARIS (France)

XXI^e congrès international de psychologie du travail (Association internationale de psychologie du travail en langue française – AIPTLF) : 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/>

19-22 SEPTEMBRE 2021

EN LIGNE

22^e 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 2021
<https://www.safety2021canada.com/fr/home-fr/>

7-8 OCTOBRE 2021

PARIS (France)

XI^e Colloque international de psychodynamique et psychopathologie du travail

Thème :

→ Plaisir au travail

RENSEIGNEMENTS

<https://www.ipdt.fr/index.php/component/content/article/8-actualites/46-xieme-colloque-international-de-psychodynamique-et-psychopathologie-du-travail?Itemid=101>

12-13 OCTOBRE 2021

PARIS (France)

Journées santé-travail de Présanse

Thème :

→ Sens et enjeux des données en santé au travail

Appel à communications jusqu'au 23 avril 2021

RENSEIGNEMENTS

<https://www.presanse.fr/actualites/jst-2021-appel-a-communications-ouvert/>

21-22 OCTOBRE 2021

ANGERS (France)

Journée de la Société de médecine et de santé au travail de l'Ouest (SMSTO)

Thème :

→ Crise sanitaire en milieu de travail, Covid-19 : avant, pendant, après

RENSEIGNEMENTS

www.smsto.fr



- 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

www.medecine-sante-travail.com

14-17 JUIN 2022

STRASBOURG (France)

36^e 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

Formation

en santé et sécurité au travail

Stage de l'INRS : Médecin du travail et radioprotection

PUBLIC

→ Médecins du travail assurant le suivi de travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

PRÉREQUIS

→ Connaissances de base en physique et sur les effets biologiques des rayonnements ionisants : différents types de rayonnements ionisants (particules, rayons X...), effets sanitaires (déterministes, stochastiques), modalités d'exposition (externe, interne).

OBJECTIF DE FORMATION

→ Mettre à jour ses connaissances pour assurer le suivi de travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

→ Intégrer les nouveautés réglementaires en radioprotection dans le suivi des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radon, cristallin).

CONTENU

- Évolutions réglementaires.
- Expositions et risques liés aux rayonnements ionisants (notion risque/dose, épidémiologie des faibles doses).
- Analyser une étude de poste.
- Bilan de l'exposition des travailleurs et SISERI.
- Cas d'incidents et d'accidents (évaluation dosimétrique, prise en charge, REX).

MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

→ Exposés, études de cas et échanges avec les participants.

VALIDATION

→ À l'issue de la formation, l'INRS délivre aux stagiaires une attestation de fin de formation.

DATES ET LIEU

→ Durée 1,5 jours le 27 mai (9h à 16h30) et le 31 mai (9h à 12h) 2021 en distanciel.

RENSEIGNEMENTS ET INSCRIPTIONS

*Programme complet et inscriptions sur www.inrs.fr -> taper BB1331
Farah Adkhir
INRS, département Formation
secretariat.forp@inrs.fr*

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 is a navigation bar with links for 'Ma sélection', 'Fils RSS', 'Summaries in English', 'La revue en PDF', and 'Contactez la rédaction'. Below this is the website's logo 'inrs' and a search bar with the text 'Rechercher' and an 'OK' button. A secondary navigation bar includes '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 night work, 'En bref' with a list of short articles, 'Fiches thématiques' with links to specific topics, 'Vos questions / nos réponses', 'Agenda / Formations' with a list of events, and 'En pratique' with links to PDFs and articles. The website uses a clean, professional layout with a color palette of purple, orange, and white.

RETROUVEZ SUR LE SITE
rst-sante-travail.fr

**TOUS LES ARTICLES PUBLIÉS DANS LA REVUE
RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL**