

HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

La revue technique de l'INRS
juillet • août • septembre 2026

N° 284

/ Décryptage /

Prévention des risques professionnels et apprentissage : enjeux et obligations

/ Note technique /

Nettoyage des locaux à l'eau ozonée

/ Étude de cas /

Accompagner les usages des logiciels de soin en Ehpad

/ Base de données /

Portrait rétrospectif des expositions au benzène en France entre 2016 et 2025



Dossier

Exosquelettes : questions de prévention

L'INRS

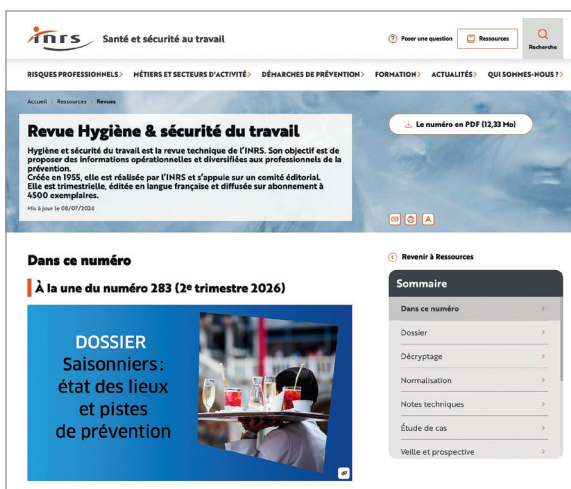
L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). L'Institut est géré par un conseil d'administration paritaire composé,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

- d'identifier les risques professionnels ;
- d'analyser leurs conséquences sur la santé de l'homme au travail ;
- de concevoir, de diffuser et de promouvoir des solutions de prévention

auprès de tous les acteurs de la prévention : spécialistes des risques professionnels en entreprise ([Q]HSE, IPRP, cadres et fonctionnels en charge de la sécurité et de la santé au travail, animateurs de sécurité, personnes compétentes...), experts – conseil, dirigeants d'entreprise ou d'établissement et (D)RH, élus aux CSE/CSSCT/RP et représentants syndicaux, salariés, agents du réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP), services de prévention et de santé au travail (interentreprises ou autonomes)...

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

> Notre métier, rendre le vôtre plus sûr



Revue Hygiène & sécurité du travail

Hygiène et sécurité du travail est la revue technique de l'INRS. Son objectif est de proposer des informations opérationnelles et diversifiées aux professionnels de la prévention. Créée en 1955, elle est réalisée par l'INRS et s'appuie sur un comité éditorial. Elle est trimestrielle, éditée en langue française et diffusée sur abonnement à 4500 exemplaires.

PDF à télécharger (12,33 Mo)

Dans ce numéro

À la une du numéro 283 (2^e trimestre 2026)

DOSSIER
Saisonniers : état des lieux et pistes de prévention

Sommaire

- Dans ce numéro
- Dossier
- Décryptage
- Normalisation
- Notes techniques
- Étude de cas
- Vieilles et prospective

**Retrouvez-nous
sur le Web :**

**Ou abonnez-vous
en ligne sur :**

hst.fr

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Antoine Bondéelle
Rédacteur en chef, INRS
Sandrine Pierrat
Secrétaire de rédaction, INRS
Taina Grastilleur, Maud Foutieau
Corrections
Amélie Lemaire,
Valérie Latchague-Causse
Maquettes et infographies, INRS
Nadia Bouda
Iconographe, INRS
Sandrine Voulyzé
Chargée de fabrication, INRS
Nadège Marmignon
Assistante, INRS

COMITÉ ÉDITORIAL

Antoine Bondéelle, Sandrine Pierrat
Équipe de rédaction, INRS
Benoît Courrier
Direction des Études
et de la recherche, INRS
Patrick Laine
Chef du département Expertise
et conseil technique, INRS
Fahima Lekhchine
Chef du département Information
et communication, INRS
Lionel Limousy
Chef du département Ingénierie
des équipements de travail, INRS
Jean Theurel
Chef du département Sciences
appliquées au travail et aux
organisations, INRS
Jérôme Triolet
Direction des Applications, INRS
Delphine Vaudoux
Responsable du pôle
Publications périodiques, INRS

ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO :

Éric Argiolas,
Jean-Jacques Atain Kouadio,
Véronique Barbat, Patricia Battais,
Emmanuel Belut, Flora Biraud,
Mélanie Brout, Frédéric Clerc,
Isabelle Clerc-Urmès,
Jennifer Clerté, Aude Cuny-Guerrier,
Valérie Demange, Antoine Dezalay,
Marc Dufraisie, Monica Ferreira,
Bertrand Galy, Béatrice Gourmaud,
Corinne Grusenmeyer,
Romain Guichard, Annabelle Guilleux,
Mathieu Guittienne, Arif Jetha,
Marc Malenfer, Gautier Mater,
Clarisse Mathieu, Sullivan Lechène,
Catherine Michaud,
Fabrice Montignier, Olivier Morais,
Leïla Naït-Hamoud, Aurélie Périssé,
Marjorie Pierrette, Amélie Pourchel,
Agnès Ratgras, Laurence Robert,
Jean-François Sauvè, Jennifer
Shettie, Benjamin Sutter, Sonia Sutter,
Jonathan Terroir, Liën Wioland,
les relecteurs internes de la revue,
les pôles Information juridique
et Traductions de l'INRS,
ainsi que les photographes cités.

L'édito de...

ALEXANDRE MORAIS, président de la commission X35A Ergonomie de l'Afnor
(Association française de normalisation), représentant de l'Afnor au CEN
(Comité européen de normalisation) et à l'ISO (Organisation internationale de normalisation)



© Alexandre Morais

« Alexandre, quand aurons-nous notre exosquelette ? »

Cette interpellation m'accueillait lorsque j'arrivais dans chaque usine du groupe PSA (Stellantis) comme responsable de l'ergonomie industrielle de ce groupe. Mais la mise en place d'un exosquelette dans une entreprise est bien plus complexe que le seul désir d'en disposer, comme le montrent les travaux menés par l'INRS depuis plus de dix ans, ainsi que les différents articles du dossier ici proposé. Les exosquelettes sont apparus sur le marché comme une assistance à la manutention d'objets ou à la posture de travail, en même temps que les petits robots sur les lignes de production, à côté des opérateurs. Cela a généré, et continue de le faire, de fortes

inquiétudes chez les travailleurs concernés par ces technologies.

Rapidement, les entreprises se sont aperçues que le recours aux méthodes et techniques existantes pour accompagner l'arrivée des exosquelettes ne suffisait plus. Certaines questions qui se posaient déjà pour la mise en œuvre de nouvelles technologies ont pris une tout autre ampleur, notamment parce que l'exosquelette, en étant au contact du corps, modifiait le schéma corporel des utilisateurs.

« La mise en place
d'un exosquelette dans
une entreprise est bien
plus complexe que le seul
désir d'en disposer. »

Un exosquelette est-il un EPI ? Continue-t-on de respecter les seuils physiques établis dans les normes ? L'exosquelette crée-t-il un travailleur augmenté ou bien protégé ? Ces questions ont suffisamment interpellé les entreprises pour que soit constitué, au sein de l'Afnor,

un groupe de travail composé d'entreprises et d'institutionnels français, dont l'INRS, pour bénéficier des retours d'expérience de différents secteurs d'activité et d'entreprises de toute taille. De leur côté, les constructeurs et les intégrateurs d'exosquelettes, confrontés à des réactions de rejet ou d'anxiété dans les entreprises, ont également été demandeurs pour participer à ce groupe. Ses travaux sont fondés sur l'activité réelle de travail. L'objectif était d'aller au-delà de la seule faisabilité technique, en considérant la faisabilité sur le plan humain concernant l'appropriation, l'acceptation et le service d'assistance physique réellement rendu en situation de travail, de santé et de sécurité au travail.

Une norme encadrant l'acquisition, la conception et l'évaluation sur le plan des méthodes et des outils est apparue comme nécessaire. Un projet a été constitué au sein de la commission ergonomie de l'Afnor, composé de praticiens, de chercheurs en ergonomie, ainsi que d'institutions comme l'INRS et l'OPPBT. La France a été le premier pays au monde à élaborer une norme relative aux exosquelettes en août 2023. Et cette norme a été proposée à l'Organisation de standardisation internationale comme base pour une norme Iso, travail en cours et animé par l'Afnor.

SOMMAIRE



Savoirs & actualités

Décryptage

Prévention des risques professionnels et apprentissage: enjeux et obligations
P. 05

Actualité juridique

Obligation d'établir un plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS)
P. 12

Travail temporaire: l'entreprise utilisatrice doit intégrer les intérimaires dans son document unique d'évaluation des risques
P. 15

Dossier

Exosquelettes: questions de prévention

- Adoption des exosquelettes professionnels: décryptage pour la pratique de prévention. Synthèse des recherches menées par l'INRS (2018-2024)
P. 20

- Intégration des exosquelettes dans le secteur de l'aide à domicile (2021-2025)
P. 27

- De l'expérimentation terrain au programme d'entreprise: les clés d'une trajectoire de cinq ans d'intégration des exosquelettes chez Air France
P. 34

- Dix ans d'expérimentations d'exosquelettes au travail: enseignements pour la prévention des risques et le maintien dans l'emploi
P. 41

- Des exosquelettes en agriculture
P. 47

Exosquelettes: questions de prévention
(lire le dossier p. 18).





Études & solutions

Notes techniques

- Nettoyage des locaux à l'eau ozonée
P. 55

- Entrepôts de pneumatiques : une qualité d'air dégradée
P. 64

- Passage de personnes devant une sorbonne de laboratoire : quel impact sur son efficacité ?
P. 72

Études de cas

- Accompagner les usages des logiciels de soin en Ehpad
P. 80

- Caractérisation des niveaux de concentration et d'exposition aux agents biologiques et chimiques dans les unités de méthanisation-compostage
P. 88

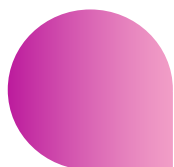
Base de données Colchic

- Portrait rétrospectif des expositions au benzène en France entre 2016 et 2025
P. 100

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



Les « notions essentielles » : une nouvelle collection d'autoformations de l'INRS (lire l'article p. 108).



Agenda & services

Formation

Catalogue des formations 2027 : accompagner le développement des compétences en prévention
P. 107

Les « notions essentielles » : une nouvelle collection d'autoformations de l'INRS
P. 108

Agenda/Formations
P. 110

Congrès

Agenda/Événements
P. 112

Sélection bibliographique

À lire, à voir
P. 114



Veille & prospective

Prospective

Santé et travail en 2040
P. 117



Savoirs & actualités

Décryptage

Prévention des risques
professionnels et apprentissage:
enjeux et obligations

P. 05

Actualité juridique

Obligation d'établir un plan particulier
de sécurité et de protection
de la santé (PPSPS)

P. 12

Travail temporaire:
l'entreprise utilisatrice doit intégrer
les intérimaires dans son document unique
d'évaluation des risques

P. 15

Dossier

Exosquelettes :
questions de prévention

P. 18

Décryptage

PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS ET APPRENTISSAGE : ENJEUX ET OBLIGATIONS

L'apprentissage constitue un vecteur de professionnalisation de l'enseignement, permettant à des jeunes travailleurs d'acquérir une expérience professionnelle tout en bénéficiant d'une formation. L'essor de l'apprentissage, ces dernières années, témoigne d'une volonté de faire coïncider l'offre de formation, les attentes des jeunes et les besoins en compétences des entreprises. Il s'accompagne de défis importants en matière de santé et de sécurité au travail¹ et exige la mise en place de mesures de prévention adaptées. Cet article permet de comprendre comment les enjeux liés à la prévention des risques professionnels doivent être pris en compte lors des périodes de formation de l'apprenti en entreprise.

OCCUPATIONAL RISK PREVENTION AND APPRENTICESHIPS: KEY ISSUES AND OBLIGATIONS - *Apprenticeships are a vector for the professionalisation of education, enabling young workers to gain professional experience while receiving training. The strong growth of apprenticeships in recent years reflects a desire to align training provision with young people's expectations and with companies' skill requirements. This growth is accompanied by significant occupational health and safety challenges¹ and requires the implementation of appropriate prevention measures. This article explains how to take occupational risk prevention issues into account during an apprentice's in-company training periods.*

AMÉLIE
POURCHEL,
MONICA
FERREIRA
INRS,
département
Études, veille
et assistance
documentaires

Le cadre général : apprentissage et « formation professionnelle tout au long de la vie »

Origine, contexte actuel

Les origines historiques d'une formation en lien avec l'activité professionnelle sont anciennes. Dès le Moyen Âge, on retrouve le concept d'apprentissage, dans l'organisation des métiers en corporations où le jeune était placé sous la protection d'un maître artisan afin d'apprendre un métier auprès de lui.

La loi du 22 février 1851 a posé pour la première fois le socle réglementaire de l'apprentissage, définissant les devoirs du maître et de l'apprenti et instaurant l'obligation d'un contrat par lequel un fabricant, un chef d'atelier ou un ouvrier s'oblige à enseigner la pratique d'une profession à une autre personne qui s'oblige, en retour, à travailler pour lui, le tout à des conditions et pendant un temps

convenu. Cette loi précisait déjà que le maître d'apprentissage ne devait jamais employer l'apprenti à des travaux et services qui seraient insalubres ou au-dessus de ses forces. Par la suite, le dispositif fera l'objet d'évolutions constantes. En particulier, la loi du 17 juillet 1992 instaure une procédure d'urgence destinée à protéger les apprentis en cas de risques sérieux d'atteinte à leur santé ou à leur intégrité physique et morale.

Plus récemment, la loi du 5 septembre 2018 sur la liberté de choisir son avenir professionnel a modifié certaines règles d'organisation de l'apprentissage, notamment celles relatives à la limite d'âge maximale d'entrée en apprentissage, à la durée du travail ou encore au statut du maître d'apprentissage.

En 2024, la Délégation générale à l'emploi et à la formation professionnelle (DGEFP) a intensifié ses efforts pour promouvoir l'apprentissage, reconnu



comme une voie d'excellence pour l'insertion professionnelle des jeunes. Depuis, l'effectif d'apprentis dans l'enseignement supérieur a continué de progresser.

Cadre réglementaire de l'apprentissage

L'apprentissage constitue une forme d'éducation alternée associant² :

- une formation dans une ou plusieurs entreprises, fondée sur l'exercice d'une ou plusieurs activités professionnelles en relation directe avec la qualification objet du contrat entre l'apprenti et l'employeur ;
- des enseignements dispensés pendant le temps de travail dans un centre de formation d'apprentis.

→ Une forme particulière de contrat de travail

Le recrutement d'un apprenti nécessite la conclusion d'un contrat d'apprentissage écrit, signé par l'apprenti (ou son représentant légal) et l'employeur, puis transmis à l'opérateur de compétences (Opco). Les mentions obligatoires sont énumérées par le Code du travail³. Un modèle type est fixé par l'arrêté du 6 juillet 2012⁴ et le formulaire Cerfa n°10103*14 peut servir de support au contrat d'apprentissage.

Par cette forme particulière de contrat de travail, l'employeur s'engage à assurer à l'apprenti une formation professionnelle complète, dispensée pour partie en entreprise et pour partie en centre de formation d'apprentis ou section d'apprentissage. L'apprenti lui, s'oblige en retour, en vue de sa for-

mation, à travailler pour cet employeur, pendant la durée du contrat et à suivre cette formation⁵.

En cas de rupture du contrat d'apprentissage et quelle qu'en soit la cause (y compris en cas d'incapacité), celle-ci doit être constatée par écrit et notifiée au centre de formation d'apprentis (CFA)⁶ ainsi qu'à l'Opco auprès duquel le contrat d'apprentissage a été déposé. Parallèlement, le CFA doit assurer la continuité de la formation théorique de l'apprenti pendant six mois et contribuer à lui trouver un nouvel employeur, afin de lui permettre d'achever son cycle de formation⁷.

→ Des conditions relatives à l'âge

S'il était initialement conçu comme un moyen de donner aux jeunes peu diplômés une qualification, le contrat d'apprentissage est ouvert depuis quelques années aux élèves de l'enseignement supérieur et ne concerne donc plus uniquement de jeunes mineurs. Il existe néanmoins des conditions relatives à l'âge pour entrer en apprentissage. L'apprenti doit être âgé de 16 à 29 ans (ou 15 ans s'il a terminé le cycle du collège). La limite d'âge peut toutefois être portée à 35 ans révolus au moment de la signature du contrat, dans certaines conditions⁸.

Il n'existe pas d'âge maximal lorsque le contrat d'apprentissage est signé par une personne ayant la qualité de travailleur handicapé, une personne inscrite sur la liste des sportifs de haut niveau ou encore par une personne envisageant de créer ou reprendre une entreprise supposant l'obtention d'un diplôme sanctionnant la formation poursuivie.

Briefing d'un apprenti en brevet de maîtrise en boulangerie.



© Philippe Gastano pour l'INRS / 2026

Rôles des différents acteurs

L'apprenti, le CFA, l'entreprise d'accueil et le maître d'apprentissage sont les acteurs principaux de ce dispositif, associant les enseignements théoriques et la formation en entreprise. La cohérence entre les deux suppose une coopération étroite entre ces acteurs, dans le respect des exigences de santé et de sécurité tout au long de l'apprentissage.

→ L'apprenti

L'apprenti suit une formation générale, théorique et pratique, destinée à l'obtention d'un diplôme d'État ou d'un titre à finalité professionnelle. Il prépare :

- soit un diplôme professionnel de l'enseignement secondaire (par exemple, un certificat d'aptitude professionnelle);
- soit un diplôme de l'enseignement supérieur (brevet de technicien supérieur; licence professionnelle...);
- soit un titre à finalité professionnelle, enregistré au Répertoire national des certifications professionnelles (RNCP).

La situation de l'apprenti est particulière, puisqu'il est à la fois salarié et apprenant. Il est tenu d'effectuer les tâches qui lui sont confiées et de respecter les consignes de sécurité mises en place par l'employeur afin de préserver sa santé, sa sécurité ainsi que celles des autres travailleurs.

→ Le centre de formation d'apprentis (CFA)

Le CFA dispense l'enseignement destiné à compléter la formation professionnelle assurée en entreprise. Le choix du CFA est mentionné dans le contrat d'apprentissage et l'enseignement qu'il dispense doit correspondre à la formation prévue par ce contrat⁹.

Le Code du travail¹⁰ confie au CFA des missions spécifiques et lui impose un ensemble d'obligations, dépassant le cadre de l'enseignement théorique. Le CFA est tenu de s'assurer que l'enseignement permet l'acquisition de compétences nécessaires à l'exercice du métier préparé, y compris en matière de prévention des risques professionnels. L'enseignement de la santé et de la sécurité au travail constitue une composante essentielle des diplômes professionnels préparés. Les enseignants sont incités à intégrer cette dimension dans leurs pratiques pédagogiques¹¹.

Le CFA doit informer l'apprenant, dès le début de sa formation, de ses droits et obligations en tant qu'apprenti et en tant que salarié. Il est tenu de veiller à la cohérence entre la formation dispensée et les activités menées en entreprise. Il favorise la coopération entre les formateurs et les maîtres d'apprentissage et maintient un lien régulier avec l'entreprise. Il peut alerter cette dernière (ou le

maître d'apprentissage) s'il identifie des difficultés susceptibles de porter atteinte à la santé ou la sécurité de l'apprenti.

→ L'entreprise d'accueil

Indépendamment de sa taille, de son statut ou de son secteur d'activité, chaque entreprise a la possibilité de recruter un apprenti. Les entreprises de travail temporaire (ETT) peuvent conclure un contrat d'apprentissage, sous réserve de respecter certaines exigences¹². Ce dispositif peut également être mobilisé pour l'exercice d'activités saisonnières, dans le cadre d'un contrat d'apprentissage conclu conjointement avec deux employeurs¹³.

Une partie de la formation pratique peut, lorsque cela est nécessaire, être dispensée dans une autre entreprise que celle qui emploie l'apprenti. Cela lui permet de compléter sa formation et d'avoir accès à des équipements ou des techniques qui ne sont pas utilisées dans l'entreprise initiale¹⁴. L'entreprise d'accueil est alors responsable du respect des règles de santé et de sécurité au travail¹⁵.

Quel que soit le cadre dans lequel s'exerce le contrat d'apprentissage, le rôle de l'entreprise est déterminant. L'employeur doit évaluer les risques et mettre en œuvre les mesures nécessaires afin de garantir que les activités confiées à l'apprenti s'exercent dans des conditions de santé et de sécurité satisfaisantes. Il attribue à l'apprenti des missions en lien avec sa formation et s'assure qu'elles soient compatibles avec son âge, son niveau de formation et ses capacités. Il veille à son inscription et à sa participation aux épreuves du diplôme ou du titre préparé¹⁶, le sensibilise aux risques professionnels et l'accompagne, tout au long de sa formation au sein de l'entreprise.

→ Le maître d'apprentissage

Si la démarche de prévention des risques professionnels relève de l'employeur, le maître d'apprentissage y participe activement. Sa désignation est obligatoire, quel que soit le cadre dans lequel s'exerce l'apprentissage, et doit intervenir dès la signature du contrat entre l'employeur et l'apprenti¹⁷. Il doit être salarié de l'entreprise (ou l'employeur lui-même), volontaire, majeur et « *offrir toutes les garanties de moralité* »¹⁸. Il est chargé d'accompagner l'apprenti dans l'acquisition des compétences nécessaires à l'obtention du diplôme ou du titre préparé. Il veille à ce que les activités confiées soient adaptées, cohérentes avec la progression pédagogique et réalisées dans des conditions préservant la santé et la sécurité de l'apprenti. Aucune formation obligatoire n'est imposée pour exercer cette fonction, mais des compétences professionnelles suffisantes sont indispensables pour la mener à bien¹⁹. Il est aussi l'interlocuteur privilégié du CFA, avec lequel il organise le parcours de formation.



L'employeur doit favoriser ces relations, en lui laissant le temps nécessaire à l'accompagnement de l'apprenti²⁰. Lorsque cette mission est confiée à plusieurs salariés, une équipe est alors mise en place. Un maître d'apprentissage référent doit être désigné afin de coordonner l'équipe et assurer la liaison avec le CFA²¹.

Les conditions de travail et la sécurité de l'apprenti

Dès son arrivée au sein de l'entreprise, l'apprenti doit bénéficier d'un même niveau de protection en matière de sécurité et de santé au travail que les autres salariés. Il est placé sous l'autorité de l'employeur pendant les périodes d'activité professionnelle dans l'entreprise et, à ce titre, il est pris en compte dans la démarche globale de prévention des risques professionnels. L'employeur doit procéder à l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs en prenant en compte la présence d'apprentis.

Les mesures de prévention des risques, mises en œuvre pour assurer la santé et la sécurité des apprentis s'insèrent dans les mesures prises pour assurer la sécurité de tous les travailleurs.

Formation à la sécurité

→ La formation générale à la sécurité

L'employeur est tenu de donner aux travailleurs les instructions appropriées, à travers des actions ayant pour objet de les former et de les informer sur les risques auxquels ils sont exposés et sur les mesures à adopter pour s'en prémunir²². Tout apprenti doit bénéficier d'une formation en matière de sécurité, dans les mêmes conditions que les salariés permanents de l'entreprise. L'objectif est d'indiquer aux apprentis les précautions à prendre pour assurer leur propre sécurité et, le cas échéant, celle des autres personnes travaillant dans l'établissement.

→ La formation renforcée à la sécurité

En complément de la formation générale à la sécurité, le Code du travail prévoit que les salariés titulaires d'un CDD en entreprise (donc *a fortiori* les apprentis qui ont généralement un CDD) et affectés à des postes de travail présentant des risques particuliers pour leur santé ou leur sécurité doivent bénéficier d'une formation renforcée à la sécurité, ainsi que d'un accueil et d'une information adaptés dans l'entreprise dans laquelle ils sont employés²³. La liste de ces postes de travail à risques particuliers doit être établie par l'employeur, après avis du comité social et économique (CSE) et du médecin du travail. Si l'identification de ces postes doit se fonder sur l'évaluation des risques liés aux activités de l'entreprise réalisée par l'employeur, le ministère du Travail²⁴ suggère néanmoins de considérer comme étant à risques particuliers :

- d'une part, les travaux dangereux qui nécessitent une certaine qualification (travaux de maintenance, travaux sur machines dangereuses) ou les travaux exposant à certains risques (travaux en hauteur, travaux en contact avec des produits chimiques, exposition à certains niveaux de bruit ou aux vibrations...);
- d'autre part, les travaux pour lesquels une formation particulière est prévue par la réglementation comme c'est le cas pour les postes de conduite d'équipements de travail mobiles automoteurs ou d'équipements de travail servant au levage.

Le Code du travail prévoit que la faute inexcusable de l'employeur est présumée établie dès lors qu'un salarié en CDD (*a fortiori* un apprenti) est victime d'un accident du travail ou d'une maladie professionnelle²⁵, lorsque, affecté à un poste présentant un risque particulier pour sa santé et sa sécurité, il n'a pas bénéficié d'une formation renforcée à la sécurité.

Dispositions particulières de protection de l'apprenti

Si l'apprenti est soumis au droit commun du travail, certaines règles dérogatoires lui sont néanmoins applicables. Les tâches confiées à l'apprenti doivent nécessairement tenir compte des capacités de l'apprenti et du diplôme qu'il prépare, en lien avec une progression définie avec le CFA. En revanche, certains travaux ne pourront être exécutés par l'apprenti en raison des risques pour sa santé ou sa sécurité.

→ Les travaux interdits

aux apprentis quel que soit leur âge

Le Code du travail interdit d'employer un apprenti, mineur ou majeur, pour des travaux dangereux pour sa santé ou sa sécurité²⁶. Il n'existe pas de liste des travaux considérés comme dangereux et spécifiquement interdits aux apprentis. Il revient à l'employeur, à partir de l'évaluation des risques qu'il réalise, d'apprécier, avant de confier une tâche à l'apprenti, si elle présente un danger (en tenant compte de son âge, de son expérience, de la qualification professionnelle préparée...).

En revanche, certains travaux particulièrement dangereux sont prohibés aux salariés titulaires d'un CDD. Une liste exhaustive de 27 travaux est définie par l'article D. 4154-1 du Code du travail. Il s'agit en particulier des travaux exposant à certains agents chimiques ou aux rayonnements ionisants. Il est alors interdit d'employer l'apprenti à ces travaux lorsqu'il est recruté en CDD.

→ Les travaux interdits aux mineurs

Le Code du travail interdit d'employer des travailleurs de moins de 18 ans à certaines catégories de travaux les soumettant à des risques pour

leur santé, leur sécurité, leur moralité ou excédant leurs forces²⁷. Ces interdictions s'appliquent donc aux apprentis uniquement lorsqu'ils sont mineurs. Les travaux concernés sont listés aux articles D. 4153-15 à D. 4153-37 du Code du travail.

Les restrictions applicables sont de deux types : certains travaux sont totalement interdits et les apprentis mineurs ne peuvent en aucun cas y être affectés en raison des risques pour leur santé ou leur sécurité. Dans certains cas, l'interdiction peut être levée pour les besoins de la formation professionnelle des jeunes apprentis, sous réserve de la transmission, en amont, d'une déclaration de dérogation aux services de l'inspection du travail. Préalablement au dépôt de cette déclaration, l'employeur doit notamment avoir procédé à une évaluation des risques prenant en compte la vulnérabilité spécifique de l'apprenti, compte tenu de son âge, de son niveau de formation et de l'absence de connaissance du milieu de travail, et lui avoir dispensé une formation à la sécurité adaptée.

Enfin, certains travaux dangereux peuvent être exercés de droit par les apprentis mineurs qui remplissent certaines conditions. Les articles R. 4153-49 à R. 4153-52 du Code du travail précisent les modalités de ces dérogations permanentes de droit. Ainsi, dans ce cadre, les jeunes apprentis qui disposent, par exemple, d'un diplôme ou d'un titre professionnel correspondant à l'activité qu'ils exercent peuvent effectuer des travaux réglementés, sans formalisation auprès de l'inspection du travail, si leur aptitude médicale à ces travaux a été constatée²⁸.

Le travail de nuit est également interdit pour l'apprenti de moins de 18 ans. Les périodes concernées sont, pour les jeunes travailleurs de plus de 16 ans et de moins de 18 ans, tout travail entre 22 heures et 6 heures. Pour les apprentis de moins de 16 ans, tout travail entre 20 heures et 6 heures est interdit²⁹. Certaines dérogations peuvent néanmoins être accordées par l'inspection du travail, par exemple pour les jeunes apprentis des établissements commerciaux, du spectacle, ou dans certains secteurs tels que l'hôtellerie, la restauration, la boulangerie...

La protection de la santé de l'apprenti

Suivi individuel de l'état de santé de l'apprenti

L'apprenti bénéficie d'un suivi individuel de son état de santé, assuré par le service de prévention et de santé au travail (SPST). Il s'exerce selon les mêmes modalités que pour les autres salariés : adaptation du suivi par le médecin du travail ; renouvellement des visites (en fonction de la durée du contrat d'apprentissage), organisation d'une visite de reprise lorsque l'absence le justifie... En l'absence de risques particuliers, l'apprenti bénéficie d'une visite d'information et de prévention, réalisée au plus

tard dans les deux mois suivant l'embauche. Cette visite doit toutefois précéder l'affectation au poste de travail lorsque l'apprenti est mineur ou affecté à un travail de nuit³⁰. Elle est assurée par un professionnel de santé : le médecin du travail ou, sous son autorité, le collaborateur médecin, l'interne en médecine du travail ou l'infirmier.

Si l'apprenti est affecté à un poste l'exposant à des risques particuliers, ou s'il a moins de 18 ans et exerce des travaux dangereux dans le cadre d'une dérogation, il relève du suivi individuel renforcé. Dans ce cas, un examen médical doit être réalisé par le médecin du travail avant l'affectation de l'apprenti sur son poste de travail (ou dans un délai maximal de deux mois à compter de son embauche)³¹.

Si la formation pratique est partiellement réalisée dans une autre entreprise que celle qui emploie l'apprenti, l'entreprise d'accueil assume les obligations liées au suivi individuel de son état de santé³². L'inaptitude de l'apprenti peut être constatée par le médecin du travail, lorsque son état de santé le justifie et qu'il est impossible d'aménager le poste de travail qu'il occupe. Compte tenu de la finalité du contrat d'apprentissage, l'employeur n'est pas tenu à son obligation habituelle de rechercher un reclassement. De même, l'obligation de reprendre le versement du salaire à l'issue d'un délai d'un mois lorsque le salarié inapte n'est ni reclassé ni licencié ne s'applique pas au contrat d'apprentissage³³.

Apprentis en situation de handicap :

aménagements et obligations de l'employeur

L'apprentissage peut être aménagé pour les travailleurs en situation de handicap³⁴. L'employeur doit prendre les mesures appropriées pour en faciliter le déroulement (adaptation du poste de travail, aménagement des horaires...). Le médecin du travail peut préconiser un aménagement du temps de travail de l'apprenti reconnu travailleur handicapé. Il en informe alors le référent chargé de l'intégration des personnes en situation de handicap désigné par le CFA ainsi que, le cas échéant, le référent handicap désigné dans l'entreprise³⁵. De manière générale, l'apprenti en situation de handicap peut bénéficier d'un accompagnement, depuis son entrée en apprentissage et tout au long de son parcours, assuré par différents intervenants (Cap emploi, le référent handicap, le maître d'apprentissage désigné dans son entreprise...).

Interruption des activités

de l'apprenti en cas de danger

→ À l'initiative de l'apprenti : le droit de retrait

L'apprenti bénéficie comme tout salarié, d'un droit de retrait. Ainsi, s'il a un motif raisonnable de penser que sa situation de travail présente un danger grave et imminent pour sa vie ou sa santé, il peut interrompre ses activités tant que l'employeur n'a



pas mis en place les mesures de prévention adaptées³⁶. Il doit immédiatement alerter son employeur ou son maître d'apprentissage. L'employeur ne peut alors plus lui demander de reprendre le travail tant que persiste le danger grave et imminent. Aucune sanction ou retenue de salaire ne peut être prononcée à l'encontre de l'apprenti qui exerce légitimement son droit de retrait.

→ À l'initiative de l'inspection du travail en cas de mise en danger de l'apprenti

Lorsque l'agent de contrôle de l'inspection du travail constate un risque sérieux d'atteinte à la santé ou à l'intégrité physique ou morale de l'apprenti, il procède à une enquête et peut proposer au directeur régional des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi (Dreets) la suspension du contrat d'apprentissage³⁷. Le ministère chargé du Travail précise qu'il peut s'agir de brutalités, de violences physiques ou morales, d'insultes, d'humiliations, de non-conformité des installations de l'entreprise, ou encore de harcèlement moral ou sexuel. Au cours de cette suspension, la rémunération de l'apprenti est maintenue par l'employeur et il continue de suivre la formation générale en CFA.

Dans le délai de quinze jours à compter du constat de l'agent de contrôle, le directeur départemental doit statuer sur la reprise ou non de l'exécution du contrat d'apprentissage. S'il refuse que l'apprenti retourne dans son entreprise, le contrat d'apprentissage est rompu automatiquement et l'employeur verse à l'apprenti les sommes dont il aurait été redevable si le contrat s'était poursuivi jusqu'à son terme. La décision de refus du Dreets peut s'accompagner de l'interdiction faite à l'employeur de recruter de nouveaux apprentis pour une durée qu'il détermine.

Accidents du travail et maladies professionnelles

L'apprenti, en tant que titulaire d'un contrat de travail, est affilié au régime de sécurité sociale et bénéficie, comme l'ensemble des salariés de l'entreprise, des prestations de sécurité sociale. Lorsqu'il fréquente le centre de formation, il continue de bénéficier du régime de sécurité sociale couvrant les accidents du travail et les maladies professionnelles dont il relève en tant que salarié³⁸. Dès lors, lorsqu'un accident survient, qu'il se produise au sein du CFA pendant une période de formation ou sur le lieu de travail pendant la durée du travail de l'apprenti, il est susceptible d'être qualifié d'accident du travail³⁹. L'employeur doit effectuer la déclaration d'accident du travail auprès de la CPAM. Les absences pour maladie doivent être couvertes par un arrêt de travail. Celui-ci doit être

transmis à l'employeur ou au CFA dans les quarante-huit heures. Pendant la période d'arrêt maladie, l'apprenti bénéficie des types d'indemnités identiques aux autres salariés. ●

1. En 2024, les chiffres de la Cnam font état de 22 décès liés au travail parmi les travailleurs de moins de 25 ans. Plus de la moitié sont survenus moins d'un an après la prise de poste (source : rapport annuel 2024 de l'Assurance maladie, 18 novembre 2025).

2. Article L. 6211-2 du Code du travail.

3. Articles L. 6222-12 et R. 6222-2 à R. 6222-4 du Code du travail.

4. Arrêté du 6 juillet 2012 relatif au modèle type de contrat d'apprentissage.

5. Article L. 6221-1 du Code du travail.

6. Article R. 6222-21 du Code du travail.

7. Article L. 6222-18-2 du Code du travail.

8. Articles L. 6222-2 et D. 6222-1 du Code du travail.

9. Article L. 6223-2 du Code du travail.

10. Article L. 6231-2 du Code du travail.

11. L'enseignement de la santé et de la sécurité au travail dans les diplômes professionnels. Ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse, 2023 (<https://eduscol.education.fr/789/l-enseignement-de-la-sante-et-securite-au-travail-dans-les-diplomes-professionnels>).

12. Articles R. 6226-1 à R. 6226-6 du Code du travail.

13. Article L. 6222-5-1 du Code du travail.

14. Article R. 6223-10 du Code du travail.

15. Article R. 6223-15 du Code du travail.

16. Article L. 6223-4 du Code du travail.

17. Formulaire Cerfa n° 10103*14, contrat d'apprentissage, ministère du Travail.

18. Article L. 6223-8-1 du Code du travail.

19. Article R. 6223-22 du Code du travail.

20. Article L. 6223-7 du Code du travail.

21. Articles L. 6223-6 et R. 6223-23 du Code du travail.

22. Articles L. 4141-2 et R. 4141-1 à R. 4141-20 du Code du travail.

23. Articles L. 4142-2 et L. 4154-2 du Code du travail.

24. Voir l'établissement de la liste des postes à risques sur le site du ministère en charge du Travail. Accessible sur : <https://travail-emploi.gouv.fr/la-liste-des-postes-risques>

25. Article L. 4154-3 du Code du travail.

26. Article L. 6222-30 du Code du travail.

27. Article L. 4153-8 du Code du travail.

28. Instruction interministérielle 2016/273 du 7 septembre 2016 relative à la mise en œuvre des dérogations aux travaux interdits pour les jeunes âgés de quinze ans au moins et de moins de 18 ans.

29. Articles L. 3163-1 et L. 6222-26 du Code du travail.

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

31. Article R. 6222-36 du Code du travail.

32. Article R. 6223-15 du Code du travail.

33. Cour de cassation, chambre sociale, 9 mai 2019, n° 18-10.618; et article L. 6222-18 du Code du travail.

34. Article R. 6222-45 du Code du travail.

35. Article R. 6222-49-1 du Code du travail.

36. Articles L. 4132-1 et suivants du Code du travail.

37. Articles L. 6225-4 et suivants du Code du travail.

38. Article L. 6222-32 du Code du travail.

39. Cour de cassation, deuxième chambre civile, 6 juin 2024, n° 21-23.216.



Mardi 24 novembre 2026

Vingt ans de prévention des risques psychosociaux : quelles avancées sur le terrain ?

Depuis le premier colloque de l'INRS consacré à la prévention du stress au travail en 2007, la démarche et les outils, le cadre réglementaire, la jurisprudence et les formes d'organisation du travail ont profondément évolué. Les risques psychosociaux (RPS) sont désormais considérés comme des risques professionnels à part entière.

Cette journée technique organisée par l'INRS propose de faire le point, vingt ans après, sur les avancées concrètes de la prévention des RPS sur le terrain.

À partir de retours d'expériences en entreprises, elle mettra en lumière les conditions de réussite mais aussi les limites et les écueils rencontrés. Les interventions s'appuieront notamment sur le cadre de référence de l'INRS, les quatre circonstances pour agir et les étapes d'une démarche de prévention structurée, centrée sur le travail réel et son organisation.

Cette journée s'adresse à l'ensemble des acteurs de la santé et sécurité au travail en entreprises.



Maison de la RATP - Espace du Centenaire - 189 rue de Bercy - 75012 Paris
Participation sur place ou en direct sur internet | Inscription obligatoire

Inscription : **rps2026.inrs.fr** - Contact : **rps2026@inrs.fr**

Actualité juridique

OBLIGATION D'ÉTABLIR UN PLAN PARTICULIER DE SÉCURITÉ ET DE PROTECTION DE LA SANTÉ (PPSPS)

La Direction générale du travail apporte des précisions pour harmoniser les pratiques sur les chantiers

Questions-réponses de la Direction générale du travail, mis à jour le 10 mars 2026¹, suite à l'arrêt de la chambre criminelle de la Cour de cassation du 14 janvier 2025, n° 23-84.130².

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

Contexte

Dès lors que plusieurs entreprises réalisent des travaux en même temps sur un chantier et qu'il est prévu une coactivité, un plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS) doit être établi (article L. 4532-9 du Code du travail). Véritable outil de prévention des risques professionnels, ce document se base notamment sur les informations contenues dans le Plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé (PGCSPS) établi par le coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé (CSPS).

Le PPSPS comprend les modes opératoires envisagés, les mesures spécifiques prises pour prévenir les risques de l'opération, que ce soit du fait de la coactivité ou des risques propres de l'entreprise, ainsi que les dispositions adaptées au contexte de l'opération.

Dans un arrêt du 14 janvier 2025, rendu à la suite d'un accident mortel survenu lors d'une opération de maintenance sur une grue à tour, la Cour de cassation a adopté une interprétation extensive de l'article L. 4532-9 du Code du travail relatif à l'obligation d'élaboration du PPSPS.

Les magistrats ont estimé que cette obligation ne s'applique pas uniquement aux entreprises participant directement aux travaux de construction, mais également à toutes celles dont les travaux

concourent à la réalisation d'une opération de construction, y compris la maintenance³.

Cette interprétation, motivée par des considérations de prévention des risques, renforce la coordination en matière de sécurité et élargit la responsabilité des entreprises extérieures intervenant sur les chantiers, y compris pour des opérations ponctuelles.

Suite aux diverses interrogations sur la façon dont doit être comprise la notion retenue par la Cour de cassation de « travaux qui concourent à la réalisation de l'opération de construction » et afin d'harmoniser les pratiques sur les chantiers soumis à coordination SPS, la Direction générale du travail (DGT) a estimé nécessaire de sécuriser l'interprétation donnée par la Cour de cassation.

C'est dans ce contexte que les questions-réponses sur « l'obligation de rédiger un PPSPS » a été publié par la DGT le 10 mars 2026.

Objectifs des questions-réponses de la DGT

Destiné à l'ensemble des acteurs concernés par les opérations de bâtiment et de génie civil, ce document vise à clarifier, de façon opérationnelle, l'obligation d'établir un PPSPS pour toutes les entreprises dont les travaux concourent à la réalisation de l'opération de construction. Il rappelle en particulier :

- le périmètre légal de l'obligation de rédiger un PPSPS pour les entreprises intervenant sur les chantiers de bâtiment et de génie civil, conformément aux dispositions de l'article L. 4532-9 du Code du travail;
- des éléments permettant de comprendre la notion retenue par la Cour de cassation de « travaux qui concourent à la réalisation de l'opération de construction », afin de déterminer, avec des exemples concrets, quelles sont les entreprises soumises à l'obligation d'élaborer un PPSPS;
- et à l'inverse, les situations dans lesquelles une entreprise qui effectue des travaux concourant à la réalisation de l'opération, peut être exonérée de l'obligation de rédiger un PPSPS.

Enfin, ce document propose une synthèse ainsi qu'un logigramme afin que les professionnels concernés connaissent rapidement leurs obligations.

Les changements résultant de la décision de la Cour de cassation du 14 janvier 2025

Jusqu'à cette décision, seules les entreprises participant directement aux travaux de construction considéraient qu'elles devaient établir le PPSPS, tandis que certaines interventions (telles que la maintenance de matériel, les essais...) étaient le plus souvent considérées comme hors du champ de cette obligation.

Depuis cet arrêt, il est désormais clair que l'obligation d'élaborer un PPSPS concerne plus largement les entreprises dont les travaux concourent à la réalisation de l'opération de construction. Le périmètre de l'obligation concerne potentiellement les entreprises de maintenance, les loueurs de matériel, certains prestataires techniques, ainsi que toute intervention utile au chantier.

Entreprises concernées par l'obligation de rédaction d'un PPSPS et interprétation de la notion de « travaux qui concourent à la réalisation de l'opération de construction »

Ce document de la DGT apporte des éclaircissements sur l'interprétation qu'il faut avoir de l'article L. 4532-9 du Code du travail. Conformément à cet article, toute entreprise appelée à intervenir à un moment quelconque des travaux sur un chantier soumis à un PGCSPPS doit établir un PPSPS.

En application de ces dispositions, le questionnaire précise que l'obligation d'établir un PPSPS concerne les entreprises dont les travaux concourent à la réalisation de l'opération de construction. Concrètement, il s'agit des actions techniques exécutées sur un chantier :

- qui impliquent une intervention directe sur l'ouvrage, sur ses équipements, sur ses installations provisoires (électriques par exemple) ou sur les moyens nécessaires à sa réalisation (moyens de levage, de protection). Ces actions consistent en



© Gaël Kerbaol / INRS / 2022

une modification, une mise en œuvre, un réglage, un assemblage, une fixation ou une mise en service effective;

- qui, sans constituer des travaux de construction au sens strict, s'inscrivent directement dans la phase de réalisation de l'ouvrage, lorsqu'elles portent sur les moyens ou équipements mis en œuvre pour la réalisation ou la sécurisation des travaux.
- À titre d'exemples, peuvent être considérés comme des travaux qui concourent à la réalisation de l'opération de construction :
- les interventions d'installation, de maintenance, réglage, mise en sécurité, modification, d'essai ou de réparation d'équipements de chantier indispensables à l'exécution des travaux, de dispositifs de sécurité collective ou d'équipements de chantier (grues, ascenseurs de chantier, installations sanitaires et de restauration);
 - les essais techniques, les mises en service ou les



ENCADRÉ

EXONÉRATION DE L'OBLIGATION DE RÉDIGER UN PPSPS EN CAS D'URGENCE

Une entreprise qui effectue des travaux qui concourent à la réalisation de l'opération de construction sera exonérée de l'obligation de rédiger un PPSPS uniquement dans les situations nécessitant une intervention en urgence, lorsque la poursuite du chantier est matériellement impossible ou dangereuse :

- en raison d'un dysfonctionnement affectant un équipement de travail ou une installation nécessaire à l'exécution des travaux (par exemple, une installation électrique) ;
- ou lorsque la sécurité des intervenants est menacée : il peut s'agir de situations dans lesquelles un danger grave et imminent pour la sécurité des intervenants impose une intervention immédiate (par exemple, en cas de risque d'effondrement ou d'instabilité d'un élément de l'ouvrage ou d'une installation provisoire, de défaillance soudaine d'un dispositif de protection collective) ou de situations présentant un risque immédiat de chute, d'écrasement, d'électrisation, ou encore en prévision ou à la suite d'événements naturels (par exemple, submersion, séisme, tempête).

L'entreprise devra toutefois mettre en œuvre tout dispositif de prévention adapté à la nature de son intervention.

réglages d'équipements de l'ouvrage avant réception (escaliers mécaniques, monte-charge).

Entreprises exonérées par l'obligation de rédaction d'un PPSPS

Lorsque les interventions réalisées sur le chantier ne concourent pas à la réalisation de l'opération de construction, ne comportent aucune action technique sur l'ouvrage ou ses équipements, ou n'ont aucune incidence sur le processus de réalisation, celles-ci ne relèvent pas du champ de l'obligation de rédaction d'un PPSPS.

Il s'agit notamment :

- des interventions réalisées en phase de conception (études, ingénierie, diagnostics, missions de maîtrise d'œuvre ou d'assistance de maîtrise d'ouvrage), qui ne relèvent pas de la phase de réalisation ;
- des prestations intellectuelles ou de contrôle, même réalisées sur site, dès lors qu'elles ne comportent aucune action technique sur l'ouvrage ou sur son processus de réalisation (par exemple : bureaux de contrôle ou des vérifications générales périodiques sans intervention technique) ;
- des livraisons ou enlèvements d'équipements, de matériels ou de matériaux, sans mise en œuvre, installation ou réglage ;
- des interventions se limitant à des mesures, relevés ou observations sans modification, mise en œuvre ou intervention physique sur l'ouvrage,

ses équipements ou les moyens de chantier (par exemple : géomètres réalisant des opérations d'implantation, de relevés topographiques ou de contrôles, mesures d'empoussièrement).

Ces interventions doivent être prises en compte dans l'organisation générale du chantier, sans nécessiter l'établissement d'un PPSPS propre.

Conséquences de l'absence de PPSPS

Même lorsque l'élaboration d'un PPSPS n'est pas obligatoire, la prévention des risques sur un chantier ne doit pas être négligée. L'absence de ce document ne dispense pas les entreprises concernées d'assurer une coordination efficace et une maîtrise des risques pour l'ensemble des travailleurs présents sur le site qui restent exposés aux risques du chantier.

Ces entreprises doivent alors mettre en place des mesures compensatoires de prévention afin de garantir la sécurité et la santé des personnes intervenant sur le chantier. Elles doivent être adaptées aux conditions d'intervention et reposer sur les principes généraux de prévention (article L. 4121-1 et suivants du Code du travail).

La mise en œuvre de ces mesures suppose que chaque entreprise dispose d'une information complète et actualisée sur les risques spécifiques liés au chantier, notamment sur les risques générés par les autres intervenants, les contraintes spécifiques liées au chantier ou à son environnement (accès, coactivité, bruit, manutentions, etc.), les consignes de secours et d'évacuation, ainsi que sur les dispositifs d'hygiène et d'organisation collective.

Ces mesures peuvent prendre différentes formes à adapter selon le contexte et il est notamment possible de s'appuyer sur les outils suivants :

- le document transmis au coordonnateur SPS, décrivant les modes opératoires, les moyens utilisés et les durées prévisionnelles d'intervention ;
- le protocole simplifié d'accès au chantier, reprenant les consignes essentielles de sécurité et les informations essentielles à transmettre aux intervenants ;
- le document harmonisé d'organisation des livraisons (DHOL), qui est issu de la recommandation R. 476 « Livraison de matériaux et éléments de construction sur les chantiers du bâtiment et des travaux publics » de la Caisse nationale d'assurance maladie. ●

1. Disponible sur : <https://travail-emploi.gouv.fr/sites/travail-emploi/files/2026-03/Obligation-de-rediger-un-plan-particulier-de-securite-et-de-protection-de-la-sante-pour-les-entreprises-du-BTP-QR-Mars-2026.pdf>.

2. Voir : <https://www.legifrance.gouv.fr/juri/id/JURITEXT000051012931/>.

3. Pour en savoir plus sur l'arrêt du 14 janvier 2025 (pourvoi n° 23-84.130) : Bulletin d'actualités juridiques de janvier 2025, accessible sur : <https://www.inrs.fr/header/actualites-juridiques.html>.

TRAVAIL TEMPORAIRE : L'ENTREPRISE UTILISATRICE DOIT INTÉGRER LES INTÉRIMAIRES DANS SON DOCUMENT UNIQUE D'ÉVALUATION DES RISQUES

Cour de cassation, chambre sociale, 13 mai 2026, n° 25-10.127¹.

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

Dans cet arrêt rendu le 13 mai 2026, la Cour de cassation rappelle la répartition des obligations en matière d'évaluation des risques professionnels, lorsque des salariés intérimaires sont mis à disposition d'entreprises utilisatrices (EU) par une entreprise de travail temporaire (ETT) pour l'exécution d'une mission.

Faits et procédure

Une ETT, organisée en unité économique et sociale (UES) et dotée d'un comité social et économique (CSE) central et de plusieurs CSE d'établissement, comprend plusieurs agences régionales. L'une d'entre elles emploie 300 salariés permanents, qui encadrent les mises à disposition de travailleurs intérimaires auprès d'entreprises clientes et met à disposition 12 000 salariés intérimaires auprès d'EU dans le cadre de contrats de mission.

Pour encadrer la prévention des risques professionnels de ces travailleurs, en complément des dispositions réglementaires prévues notamment par le Code du travail, l'agence pouvait se référer :

- à l'accord relatif à la santé et à la sécurité au travail dans la branche du travail temporaire, conclu le 3 mars 2017 afin de renforcer la prévention des risques professionnels et améliorer les conditions de travail des salariés intérimaires. Cet accord, étendu par arrêté du 17 juillet 2018, prévoit notamment que le CSE de l'ETT (CHSCT au moment des faits) doit se préoccuper du suivi de la santé et de la sécurité des salariés intérimaires, sans pour autant se substituer aux obligations qui incombent au CSE de l'EU ;
- au plan d'action interne (dénommé « roue de la prévention »), définissant une politique générale

de prévention et de suivi concernant les salariés intérimaires.

Dans cette affaire, le CSE de l'agence d'intérim régionale et une organisation syndicale soutenaient des manquements de l'employeur (l'ETT) à ses obligations légales, à l'accord de branche étendu, ainsi qu'à son propre plan d'action interne concernant les salariés intérimaires.

Il lui était également reproché la défaillance de la politique de prévention mise en œuvre dans l'agence régionale au regard du niveau de sinistralité des salariés intérimaires (le taux de fréquence des accidents du travail subis par les salariés intérimaires relevant du périmètre de cette agence étant supérieur au taux national).

Invoquant la persistance d'un risque élevé pour la santé et la sécurité de ces derniers, le CSE de l'agence ainsi que l'organisation syndicale ont saisi le tribunal judiciaire afin qu'il soit notamment ordonné à l'ETT :

- de mettre à jour son document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP) ainsi que son programme annuel de prévention des risques professionnels et d'amélioration des conditions de travail (Papripact) afin d'y intégrer les risques professionnels et les actions de prévention concernant les salariés intérimaires ;
- d'informer, sous astreinte, le CSE de l'établissement sur le suivi des entreprises utilisatrices les plus accidentogènes et les actions associées.

Décision des juges du fond (tribunal judiciaire et cour d'appel)

Sur le DUERP et le Papripact de l'ETT

Les demandes tendant à imposer à l'ETT la mise à jour de son DUERP et de son Papripact pour y intégrer les risques professionnels auxquels les salariés

intérimaires étaient exposés dans les entreprises utilisatrices ont été rejetées.

La cour d'appel a retenu que les risques liés aux postes de travail occupés chez les entreprises utilisatrices relevaient du DUERP de ces dernières, et non du DUERP de l'ETT.

Sur l'information du CSE relative aux entreprises utilisatrices les plus accidentogènes

La cour d'appel a également rejeté la demande tendant à ordonner à l'ETT d'informer le CSE sur le suivi des entreprises utilisatrices les plus accidentogènes et les actions associées. Elle a considéré que l'accord de branche du 3 mars 2017 ne fixait pas d'obligation ni d'action déterminée à la charge de l'ETT.

Décision de la Cour de cassation

Concernant le DUERP des postes occupés par les intérimaires

La Cour de cassation confirme la décision des juges du fond.

Bien que la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs temporaires repose sur une responsabilité commune entre l'ETT et l'EU, la Cour de cassation indique qu'il appartient à l'EU :

- de prendre toutes les dispositions nécessaires pour assurer cette protection en application de l'article L. 1251-21, 4° du Code du travail;
- d'effectuer le travail d'évaluation des risques et donc d'identifier dans son DUERP les risques inhérents à son activité dans les unités de travail au sein desquelles les salariés intérimaires sont affectés.

L'EU est en effet seule en mesure d'identifier les risques inhérents à son activité dans son DUERP et, le cas échéant, dans son plan de prévention des risques, puis de prendre les mesures de prévention adaptées.

Concernant l'information annuelle du CSE sur les clients les plus accidentogènes lorsque celui-ci le demande

La Cour de cassation considère qu'il résulte de l'accord de branche que l'ETT a l'obligation d'informer chaque année le CSE, lorsque celui-ci en fait la demande, du suivi des clients les plus accidentogènes et des actions associées.

En s'appuyant sur l'accord de branche, la Cour de cassation rappelle que le CSE de l'ETT doit pouvoir se préoccuper de la santé et de la sécurité des salariés intérimaires, sans se substituer aux obligations qui incombent au CSE de l'EU. Cette prérogative peut notamment porter sur l'information relative au programme de prévention et sur l'examen des actions à mettre en œuvre à l'égard des entreprises utilisatrices dans lesquelles un nombre important d'accidents du travail a été constaté.

En revanche, la Cour précise que l'obligation mise à

la charge de l'ETT est une obligation d'information et non une obligation de consultation.

Sur ce point, il s'agit donc d'une cassation partielle de l'arrêt d'appel: il y a bien une obligation d'information du CSE de l'ETT. Toutefois, la demande du CSE tendant à imposer une consultation formelle (avec rendu d'avis) est rejetée.

Cet arrêt permet de revenir sur trois éléments essentiels concernant la santé et la sécurité des intérimaires: leur intégration dans le DUERP de l'EU, les obligations spécifiques de l'ETT et le rôle du CSE de l'ETT.

Intégration des intérimaires dans le DUER de l'EU

Dans cet arrêt, la Cour de cassation clarifie l'articulation entre l'obligation générale d'évaluation des risques professionnels de l'employeur et la configuration spécifique du travail temporaire.

Le salarié intérimaire est lié contractuellement à l'ETT, mais il exécute sa mission dans une EU. Cette dissociation entre l'employeur et le lieu effectif d'exécution du travail rend nécessaire une répartition des responsabilités.

L'article L. 4111-5 du Code du travail précise que, pour l'application des dispositions relatives à la santé et à la sécurité au travail, sont considérés comme travailleurs « les salariés, y compris temporaires, et les stagiaires, ainsi que toute personne placée à quelque titre que ce soit sous l'autorité de l'employeur ». Cette définition large a pour effet d'inclure les salariés intérimaires (temporaires) dans le champ d'application des règles de prévention des risques professionnels qui s'appliquent à l'entreprise dans laquelle ils exercent effectivement leur activité. En complément, l'article L. 1251-21 du Code du travail précise que, durant la mission, l'EU est responsable des conditions d'exécution du travail, ce qui comprend notamment la santé et la sécurité des salariés intérimaires qu'elle accueille.

En pratique, l'EU est la plus à même de connaître, précisément, les risques professionnels existants en son sein. C'est pourquoi la démarche d'évaluation des risques professionnels auxquels sont exposés les intérimaires relève de sa compétence.

En pratique, l'EU doit évaluer les risques auxquels sont exposés les salariés intérimaires, au même titre que les autres salariés de l'entreprise, mais aussi les risques propres aux salariés intérimaires, du fait de leur statut dans l'entreprise.

Cet arrêt permet donc de confirmer que la prévention des risques liés aux intérimaires doit être construite au plus près des situations de travail réelles. Le DUERP doit répertorier l'ensemble des risques professionnels auxquels sont exposés les travailleurs et assurer la traçabilité collective de ces expositions. C'est donc l'EU qui doit intégrer les intérimaires dans son évaluation des risques, puisque c'est elle qui connaît les postes, l'environnement de travail,

l'organisation de l'activité et les expositions effectives.

Cette approche est cohérente avec la logique du DUERP, qui repose sur une évaluation par unité de travail et suppose une connaissance fine de l'activité réelle. L'ETT ne peut pas matériellement identifier, avec le même degré de précision que l'EU l'ensemble des risques propres à chaque poste, atelier, chantier. Cette solution :

- évite de faire peser sur l'ETT une obligation d'évaluation qu'elle ne peut pas maîtriser directement ;
- évite de faire du DUERP de l'ETT un document englobant l'ensemble des risques des entreprises utilisatrices. Une telle extension aurait conduit à une dilution de la responsabilité de l'EU et à une perte de lisibilité de l'évaluation des risques.

Les obligations spécifiques de l'ETT

La solution ne doit pas être interprétée comme une exonération totale de la responsabilité de l'ETT. Celle-ci, en sa qualité d'employeur, doit notamment contribuer à la protection de la santé et de la sécurité des salariés intérimaires par une politique active de prévention et par un suivi adapté aux spécificités du travail temporaire.

Concernant la prévention des risques professionnels, bien que durant l'exécution de la mission elle délègue une partie de ses fonctions à l'EU, il n'en demeure pas moins que son statut d'employeur, garant de la santé et de la sécurité de ses salariés, persiste.

Il lui appartient notamment de :

- former les salariés permanents des agences d'emploi. Ces derniers sont les interlocuteurs privilégiés de l'EU, de l'établissement du contrat à la conclusion de la mission. Afin qu'ils puissent pleinement jouer leur rôle en termes de prévention des risques professionnels des salariés intérimaires, l'ETT est tenue de dispenser à ses salariés permanents une formation relative à la santé et la sécurité des salariés intérimaires ;
- réaliser des visites des postes de travail de l'EU ;
- formaliser la démarche de prévention dans les contrats établis avec l'EU. Le Code du travail prévoit que le recours à l'intérim se formalise par la conclusion de deux contrats : un contrat de mise à disposition, entre l'ETT et l'EU, et un contrat de mission, entre l'ETT et le salarié intérimaire. Les EU et les ETT doivent faire apparaître dans ces contrats des informations relatives à la mission et nécessaires à la mise en œuvre de la démarche de prévention des risques professionnels. Ainsi, le contrat de mise à disposition établi pour chaque salarié et chaque mission doit notamment comporter diverses informations (les caractéristiques particulières du poste de travail à pourvoir, et si celui-ci figure sur la liste des postes présentant des particularités pour la santé ou la sécurité des salariés, ainsi que la qualification professionnelle exigée, le

lieu de la mission et l'horaire ; la nature des équipements de protection individuelle que le salarié devra utiliser et s'ils sont éventuellement fournis par l'entreprise de travail temporaire). Ces informations sont retranscrites dans le contrat de mission qui est conclu entre l'ETT et le salarié intérimaire ;

- assurer le suivi de l'état de santé des salariés intérimaires.

L'information du CSE de l'ETT : une prérogative autonome, distincte de la consultation

L'autre apport majeur de l'arrêt concerne le rôle du CSE de l'ETT.

La Cour consacre une obligation d'information du CSE, lorsque celui-ci en fait la demande, sur le suivi des EU les plus accidentogènes et les actions associées.

Cette obligation trouve son fondement dans l'article 22 de l'accord de branche du 3 mars 2017.

Elle reconnaît que le CSE de l'ETT ne peut pas être privé d'informations relatives à la sinistralité des salariés intérimaires au motif que les risques liés aux postes relèvent du DUERP de l'EU.

Autrement dit, le fait que l'EU soit compétente pour évaluer les risques dans son DUERP ne fait pas obstacle à l'exercice, par le CSE de l'ETT, de prérogatives d'information sur le suivi des salariés intérimaires.

La Cour précise toutefois qu'il s'agit d'une obligation d'information, et non d'une obligation de consultation.

L'information permet au CSE d'obtenir les éléments nécessaires au suivi de la politique de prévention de l'ETT. La consultation, en revanche, supposerait une procédure plus formalisée, avec le recueil d'un avis sur un objet déterminé. La Cour refuse de déduire de l'accord de branche une obligation de consultation spécifique sur le suivi des clients les plus accidentogènes.

Cette distinction permet de préserver l'équilibre du dispositif : le CSE de l'ETT est informé et peut se préoccuper du suivi de la santé et de la sécurité des salariés intérimaires, mais il ne se substitue ni au CSE de l'EU, ni à l'EU dans l'évaluation des risques propres à ses unités de travail. ●

1. Voir : <https://www.legifrance.gouv.fr/juri/id/JURITEXT000054110138>.

POUR EN SAVOIR +

- Dossier web INRS – *Salariés intérimaires (intérim, travail temporaire...)*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/demarche/salaries-interimaires/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- Focus juridique INRS – *Santé des intérimaires : quelles modalités de suivi ?* Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/juridique/focus-juridiques/focus-suivi-sante-interimaires.html>
- Aide-mémoire juridique INRS – *Santé et sécurité des intérimaires, cadre réglementaire*. TJ 21, 2025. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TJ%2021>





Dossier

EXOSQUELETES: QUESTIONS DE PRÉVENTION

❶ Adoption des exosquelettes professionnels: décryptage pour la pratique de prévention. Synthèse des recherches menées par l'INRS (2018-2024)
P. 20

❷ Intégration des exosquelettes dans le secteur de l'aide à domicile (2021-2025)
P. 27

❸ De l'expérimentation terrain au programme d'entreprise: les clés d'une trajectoire de cinq ans d'intégration des exosquelettes chez Air France
P. 34

❹ Dix ans d'expérimentations d'exosquelettes au travail: enseignements pour la prévention des risques et le maintien dans l'emploi
P. 41

❺ Des exosquelettes en agriculture
P. 47



Envisagés comme une réponse complémentaire face aux contraintes physiques, les exosquelettes professionnels interrogent les pratiques de prévention autant que les conditions de leur intégration. Ce dossier réunit des travaux de recherche et des retours d'expérience conduits dans plusieurs secteurs – aide à domicile, aérien, activités postales et agriculture – pour éclairer leurs apports, leurs limites et leurs effets sur le travail réel. Il souligne l'importance d'une démarche de prévention structurée, associant les utilisateurs, les collectifs de travail, les préventeurs, les managers et les services de prévention et de santé au travail. De l'adoption par les entreprises et les salariés au suivi dans la durée, en passant par les enjeux organisationnels, sociaux, médicaux ou juridiques, ce dossier propose des repères pour accompagner des projets d'exosquelettes sans les réduire à une solution technique.

EXOSKELETONS: PREVENTION QUESTIONS – Viewed as a complementary response to physical strain, occupational exoskeletons raise questions about both prevention practices and the conditions for their integration into the workplace. This feature article brings together research work and field experience from several sectors – home care, aviation, postal services and agriculture – to shed light on their benefits, limitations and effects on actual working conditions. It highlights the importance of a structured prevention approach, involving users, work groups, health and safety officers, managers and occupational health and prevention services. From adoption by companies and employees to long-term monitoring, including organisational, social, medical and legal considerations, this feature article provides guidance to support exoskeleton projects without reducing them to a purely technical solution.

ADOPTION DES EXOSQUELETES PROFESSIONNELS: DÉCRYPTAGE POUR LA PRATIQUE DE PRÉVENTION

Synthèse des recherches menées par l'INRS (2018-2024)

L'adoption d'un exosquelette professionnel ne dépend pas seulement de l'exosquelette, mais aussi de la démarche d'intégration, de l'expérience des utilisateurs et du collectif de travail. Cet article propose des repères pour accompagner ces projets dans une démarche de prévention des risques professionnels.

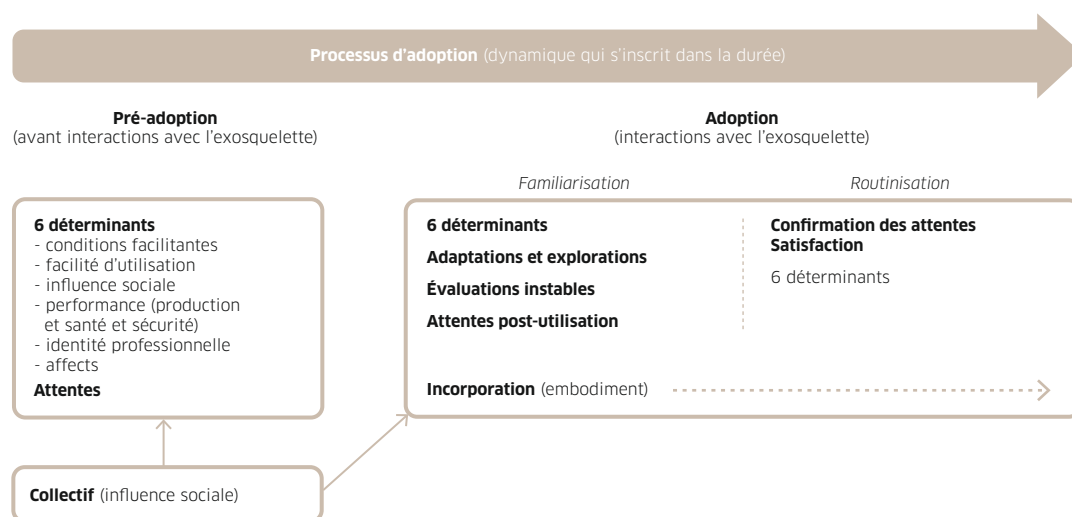
LIËN WIOLAND, JEAN-JACQUES ATAIN KOUADIO, ISABELLE CLERC-URMÈS, FLORA BIRAUD, MARC DUFRAISSE
INRS, département Sciences appliquées au travail et aux organisations

Dans le cadre de la prévention des risques de troubles musculosquelettiques (TMS), lorsque toutes les solutions d'amélioration des conditions de travail ont été testées ou que la mécanisation n'est pas envisageable, les exosquelettes professionnels peuvent être envisagés comme une solution complémentaire susceptible de contribuer à l'amélioration des conditions de travail. Le déploiement des exosquelettes professionnels, qu'ils soient passifs ou actifs, et de surcroît leur adoption

par les utilisateurs représente alors un enjeu majeur dans la dynamique de modernisation des entreprises.

L'adoption des exosquelettes par les utilisateurs dépend à la fois de la qualité de la démarche mise en place par l'organisation pour les intégrer et de la qualité de l'interaction entre l'utilisateur et l'exosquelette. Ainsi, une démarche d'intégration inadaptée ou une interaction utilisateur-exosquelette non satisfaisante peuvent toutes deux compromettre l'adoption de l'exosquelette et se traduire par l'émergence de points de tension,

FIGURE 1 → Récapitulatif des déterminants du processus d'adoption d'un exosquelette.





Soudeur équipé d'un exosquelette pour réaliser une opération de meulage.

voire d'une exposition à des facteurs de risque psychosociaux, de TMS et même d'accidents. Cet article dresse une synthèse des travaux conduits par l'INRS entre 2018 et 2024 sur le processus d'adoption des exosquelettes professionnels par les utilisateurs et les collectifs de travail. Il vise à décrire la dynamique de ce processus pour mieux comprendre les mécanismes qui le favorisent ou, au contraire, le freinent. L'objectif est de fournir aux préventeurs des repères qu'ils pourront mobiliser dans leurs pratiques.

Le sujet de l'adoption sera abordé en deux temps: un premier point, indispensable pour poser les bases, articule repères théoriques et résultats des études menées par INRS (résumé sur la Figure 1), abordant respectivement les dimensions individuelles et collectives de l'adoption; il constitue ainsi le socle sur lequel s'appuie la seconde partie. Cette dernière, plus opérationnelle, présente les principaux repères pour accompagner le déploiement des exosquelettes en intégrant les enjeux de l'adoption. Elle revient sur certains éléments théoriques et les enrichit en mettant en lumière ceux qui sont particulièrement utiles pour l'action.

L'adoption des exosquelettes professionnels: prérequis et repères théoriques

Prérequis

Sur le sujet de l'adoption, un prérequis essentiel s'impose: l'intégration d'exosquelettes professionnels en entreprise nécessite une approche structurée,

allant de l'identification des besoins au suivi du déploiement [1,2]. Cette démarche est déterminante, tant pour bénéficier du potentiel de ces technologies en termes de prévention des risques professionnels que pour assurer la réussite du projet.

Première étape du processus d'adoption: la pré-adoption (l'acceptabilité)

Quelle que soit la technologie, la pré-adoption (ou acceptabilité) constitue la première étape du processus d'adoption; elle se situe en amont de l'intégration du dispositif, c'est-à-dire avant même que l'utilisateur n'ait interagi avec lui. Elle est définie comme l'attitude (l'opinion, la décision ou encore le comportement) que le futur utilisateur développe envers le dispositif, à partir de la représentation mentale qu'il s'en construit. Cette représentation résulte principalement de l'interaction de six déterminants [3,4]:

- les conditions facilitantes, qui renvoient à ce que l'organisation met en place dans le cadre des exosquelettes tant en amont de leur intégration qu'une fois déployés;
- la facilité d'utilisation, correspondant au degré selon lequel l'utilisateur considère que l'exosquelette requiert peu d'efforts;
- l'influence sociale, qui correspond à l'impact des opinions et comportements de l'environnement social professionnel sur l'utilisateur de l'exosquelette;
- la performance, qui correspond au degré selon lequel une personne estime que l'utilisation de



Utilisation
d'un
exosquelette
dans un
entrepôt
logistique.

l'exosquelette améliore ses performances professionnelles, à la fois en termes de production et de santé-sécurité;

- l'identité professionnelle, qui renvoie à la manière dont l'exosquelette affecte le sentiment d'identité et la valorisation du métier de l'utilisateur;
- les affects, qui renvoient aux émotions positives ou négatives associées à l'utilisation de l'exosquelette.

Toujours en s'appuyant sur la représentation mentale qu'il a élaborée du dispositif, le futur utilisateur va également définir ses attentes, à savoir les bénéfices qu'il peut tirer de l'utilisation de l'exosquelette que cela soit en termes de santé et sécurité au travail, de productivité ou de symbolique (exosquelette perçu comme pouvant améliorer l'image du métier) [5,6]. Lorsqu'il interagira avec le dispositif, l'utilisateur, confronté à la réalité, pourra être amené à reformuler ses attentes (attentes post-utilisation).

Deuxième étape du processus d'adoption : l'acceptation

Lorsque l'opérateur interagit effectivement avec une technologie, l'étape d'acceptation se met en place. Si les déterminants décrits pour expliquer la pré-adoption restent valables à ce stade, d'autres facteurs, liés à l'expérience (au vécu) d'interaction avec la technologie interviennent également. Ces facteurs sont présentés au travers des deux séquences qui composent cette étape d'acceptation: une séquence de familiarisation, puis une séquence de routinisation de l'usage.

→ La séquence de familiarisation

La familiarisation désigne les premiers temps de l'interaction entre l'utilisateur et la technologie durant laquelle ce dernier apprend à agir avec la technologie [7,8].

Elle se caractérise par l'émergence de deux types d'activité. Le premier consiste en l'expérimentation du dispositif, et notamment de ses apports, limites et effets secondaires (par exemple, un exosquelette pour les membres supérieurs impose à l'utilisateur, lorsque ses bras sont levés, d'exercer une force verticale vers le bas plus importante pour les faire redescendre que sans exosquelette). Confronté à ces effets, l'utilisateur va devoir s'adapter, ce qui lui permet de poser les bases d'un futur usage. L'adaptation est entendue ici comme un processus de progression dynamique en situation de travail, constitué de tests et d'ajustements de l'activité pour bénéficier du potentiel du dispositif. Ce phénomène a été observé dans les études où les participants ont rapporté des changements dans leurs stratégies gestuelles de travail [9,10]. Dans le cas où ces adaptations ne parviennent pas à se mettre en place, l'équilibre entre les bénéfices et les contraintes ne peut pas se stabiliser, signifiant ainsi que l'interaction entre l'utilisateur et l'exosquelette est dégradée et que le parcours d'adoption peut être remis en cause.

Le second type d'activité est constitué d'évaluations et de comparaisons du dispositif au regard des attentes initialement élaborées lors de la phase de la pré-adoption. Cette comparaison peut amener l'utilisateur à considérer que la performance du dispositif confirme voire dépasse ses attentes préalables ou, à l'inverse, n'est pas confirmée voire est inférieure. Si elle est inférieure, elle impacte la satisfaction de l'utilisateur, et peut conduire à un refus de poursuivre l'utilisation de la technologie au-delà des premiers essais.

À ce stade, du point de vue de l'utilisateur, l'incertitude quant aux retombées de l'usage du dispositif peut l'amener à formuler des appréciations qui évoluent dans le temps. Ainsi, une étude de l'INRS [10] a montré que certains utilisateurs présentaient des évaluations (positives ou négatives) stables dès



© Patrick Delapierre pour l'INRS / 2019

le début de la familiarisation, tandis que d'autres restaient instables même après plusieurs semaines d'utilisation, un constat également relevé par d'autres études [11].

Étant attaché à l'utilisateur, l'exosquelette interagit de façon étroite avec son corps et lui procure des sensations corporelles. Ainsi, la perception et l'expérience de l'utilisateur avec l'exosquelette sont étroitement liées à l'expérience corporelle [11]. Les travaux de l'INRS rendent compte de cette dimension au travers du concept d'incorporation (*embodiment*) défini ainsi: il y a incorporation à l'égard d'un corps B lorsque les propriétés de B sont traitées comme s'il s'agissait des propriétés de son propre corps biologique [12]. L'incorporation se construit dès la phase de familiarisation, progressivement au fil de l'utilisation, pour se renforcer lors de l'usage routinier. Ainsi, il a été observé que des utilisateurs de longue durée avaient l'impression de faire corps avec l'exosquelette, voire de ne plus faire qu'un [13].

→ La séquence de routinisation (continuité d'usage)

La routinisation reflète la période au cours de laquelle l'usage de la technologie s'inscrit de façon régulière dans un certain niveau d'habitude. Les études INRS impliquant des utilisateurs de longue durée (supérieure à un an) confirment deux constats issus de la littérature [14]. Ainsi, lorsque l'usage s'inscrit dans la durée, certains déterminants (facilité d'utilisation, identité professionnelle, influence sociale, productivité, affects et conditions facilitantes) initialement identifiés restent présents, mais avec une influence moindre que dans les étapes de pré-adoption et de familiarisation pour laisser place à d'autres facteurs, tels que la satisfaction et la confirmation des attentes [15]. La satisfaction de l'utilisateur désigne l'évaluation positive que l'utilisateur porte sur les bénéfices de l'utilisation de l'exosquelette, et la confirmation des attentes correspond à la situation dans laquelle l'exosquelette répond effectivement aux attentes de l'utilisateur [16].

L'adoption et l'environnement social professionnel

Le collectif de travail désigne un groupe d'individus interdépendants qui réalisent ensemble une tâche pour atteindre un but partagé à partir de dynamiques de coopération et de coordination de leurs actions. Ce collectif, pour fonctionner, s'appuie sur des normes communes qui peuvent évoluer en fonction des transformations du travail. Ces normes recouvrent quatre catégories de règles: des règles sociales (qui organisent et structurent les relations entre les membres du collectif), des règles techniques (qui encadrent les méthodes de travail), des règles langagières et des règles éthiques (qui for-

ment le socle des valeurs partagées par le groupe). Bien qu'informelles, ces règles s'imposent à l'ensemble des membres du collectif et contribuent à créer un sentiment d'appartenance à une communauté professionnelle. Ces normes définissent par ailleurs ce que le collectif attend en matière de comportements souhaitables et acceptables. Au-delà des aspects comportementaux, ces normes concernent également les opinions et les sentiments. À l'échelle du groupe, elles contribuent à maintenir la cohésion et la qualité des échanges, au niveau individuel elles constituent des repères permettant à chacun de se positionner au sein du collectif et d'adopter une conduite acceptable pour le collectif.

Lorsqu'un risque est perçu par le collectif à l'égard de ces normes, une dynamique de protection peut se mettre en place. L'introduction d'exosquelettes au sein d'un collectif en constitue une illustration: elle peut conduire les collègues de l'utilisateur à percevoir ce dernier comme s'éloignant des normes établies par le collectif, déclenchant ainsi cette dynamique de protection. Cet écart par rapport aux normes est perçu par les membres du collectif comme une menace pour la cohésion, la stabilité et le bon fonctionnement du collectif [17]. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'influence sociale, qui correspond à une pression qu'exerce un individu sur un collègue pour modifier ses opinions, ses attitudes et ses comportements, plus particulièrement lors des phases de changements. Deux types d'influence sont distingués: l'influence informative et l'influence normative. La première repose sur la transmission d'informations: les individus, pour mieux comprendre la réalité, tiennent compte des avis exprimés par les autres membres du groupe. La seconde, quant à elle, oriente la conduite à adopter et la manière de l'adopter. S'agissant de l'influence normative, les collectifs ont tendance à chercher à corriger immédiatement ou de façon différée les comportements jugés contre normatifs. Ces tentatives de régulation face à de tels comportements sont appelées « *contrôle social* » [17]. Ce contrôle peut s'exercer sous différentes formes, allant de la simple remarque désapprobatrice à une mise à l'écart silencieuse, voire à l'exclusion de l'individu.

Par ailleurs, l'intégration d'un exosquelette au sein d'un collectif constitue en elle-même un changement. Ainsi, à ces mécanismes d'influence et de contrôle social s'ajoutent donc les mécanismes de résistance, qui se manifestent à la fois sur les plans cognitif, affectif et comportemental. L'intégration des exosquelettes peut générer deux types de résistance: la résistance au changement qui porte sur le processus de transformation lui-même, et la résistance à l'innovation, qui concerne le dispositif à proprement parler. Si ces deux formes de résistance se traduisent par une éventuelle modification de l'activité et par une reconstruction du sens que



l'utilisateur donne à son travail, leur objet diffère: la résistance au changement renvoie au travail et à l'organisation (par exemple, remise en cause des habitudes collectives), tandis que la résistance à l'innovation concerne plus spécifiquement, dans le cas des exosquelettes, le rapport au corps et aux gestes, ainsi que la manière dont l'exosquelette va transformer la tâche et qui peut ne pas convenir aux utilisateurs (par exemple, refus d'adapter un mode opératoire).

Ces résistances ne sont pas forcément à considérer comme négatives ; elles constituent également une réaction qui peut être constructive face à l'incertitude engendrée par les changements. Par ailleurs, face aux changements et aux transformations, la dynamique de l'intelligence collective peut également se manifester de façon plurielle selon les collectifs et leur contexte de travail. Ce processus correspond à une période durant laquelle les membres du collectif recherchent, traitent et interprètent des informations, afin de construire une représentation partagée de leur nouvel environnement, qu'ils peuvent ensuite mobiliser collectivement. La communication y joue un rôle central, en permettant la transmission des connaissances nécessaires à la résolution des situations perçues comme problématiques. Cette intelligence collective accroît le potentiel adaptatif du collectif et lui permet de faire face à des situations complexes, faisant de lui un collectif apprenant.

Une étude de l'INRS a permis de recueillir les premières réactions d'un collectif face à un collègue utilisateur d'un exosquelette [18]. Elles ont démontré que l'utilisation d'exosquelettes avait un impact sur le collectif de travail. Ainsi les utilisateurs ont dû faire face à des railleries, des regards négatifs et des comparaisons faites entre eux et des robots, provenant de leurs collègues ou de personnes extérieures au collectif de travail. Il a également été observé que l'activité collective pouvait être amenée à se réorganiser et à s'adapter en fonction de l'utilisateur de l'exosquelette, en termes par exemple de coordination des actions entre les différents collègues, ou encore de redéfinition des rôles et tâches de chacun. D'autres études de l'INRS ont mis en évidence que, dans certains collectifs décrits comme ayant une forte cohésion, avec des relations sociales positives [19], les futurs utilisateurs d'exosquelette formulaient l'hypothèse d'un soutien du collectif et excluaient la possibilité d'être influencés ou contrôlés. Cependant les données recueillies auprès de ceux qui étaient déjà utilisateurs dans ces mêmes collectifs révèlent une tendance plutôt inverse, conduisant même certains à développer une réticence à utiliser le dispositif. Pour autant, les changements induits par l'exosquelette étaient évalués positivement par la majorité

des participants, tant au niveau de l'organisation de l'activité collective, des relations sociales, de la productivité que de la qualité du travail. Parmi ceux, minoritaires, qui considéraient que cela pouvait poser des difficultés, une majorité ont répondu qu'ils rechercheraient collectivement des solutions (intelligence collective). Les résultats ont montré que, même lorsque le collectif échangeait peu (en termes de partage d'informations sur le dispositif), mais que les échanges étaient positifs, leur impact était positif pour l'utilisateur de l'exosquelette. En cas d'absence d'échange, l'impact était nul ou faible. Au final, force est de constater que l'environnement social peut constituer à la fois une barrière ou un levier à l'adoption, et qu'au vu du contexte théorique et des observations, intégrer un exosquelette constitue un changement qui peut conduire à de la résistance. Par conséquent, tout comme une familiarisation individuelle est nécessaire, une familiarisation du collectif l'est aussi afin de prévenir les risques liés à l'influence et au contrôle social en permettant au collectif d'anticiper les modifications, d'échanger et d'élaborer collectivement des solutions d'adaptation. L'idée est d'éviter de perturber autant que possible les normes établies et partagées par le collectif.

À retenir pour la pratique

À la lumière des connaissances présentées précédemment, des points de vigilance sont proposés pour éclairer et orienter la pratique opérationnelle en prévention des risques professionnels dans le cadre d'un projet d'intégration d'exosquelettes.

L'adoption: une question à intégrer dès la phase initiale du projet

Les résultats des études mettent en évidence que le processus d'adoption est dynamique et s'inscrit dans la durée. Ainsi, l'adoption se construit dès les prémices du projet. Une attention particulière doit donc être portée aux messages diffusés dans l'entreprise dès les premières étapes. Un socle minimal d'acculturation doit être assuré auprès de l'ensemble des acteurs qui seront concernés, de près ou de loin, par le projet. À défaut, un risque de générer des attentes auxquelles le dispositif ne pourra pas répondre pourrait émerger, ce qui augmenterait la probabilité que les utilisateurs ne soient pas satisfaits. Ceci est d'autant plus important que, à l'étape de routinisation, les déterminants ayant le plus d'impact sont la satisfaction et l'adéquation entre les attentes des utilisateurs et la performance du dispositif.

L'adoption: un processus dynamique et multidimensionnel

Tout au long du processus d'adoption, excepté l'étape de routinisation, la dimension des affects, qui résultent de l'interaction des différents

déterminants, est celle qui influence le plus l'intention d'utiliser le dispositif. Cela confirme que l'adoption ne relève pas d'une décision simple, fondée sur un unique facteur, mais implique de s'intéresser à l'ensemble des déterminants. Néanmoins, il a également été observé que l'impact de certains déterminants varie selon l'étape du processus d'adoption considérée. Ainsi, il apparaît que l'influence sociale a un impact plus marqué sur l'intention d'usage, durant les phases de pré-adoption et de familiarisation, avant de s'atténuer lors de la phase d'acceptation. Cela souligne l'importance d'impliquer l'utilisateur et son collectif dès la pré-adoption ainsi que durant la familiarisation. Il est donc suggéré, durant ces deux étapes, d'associer l'ensemble des acteurs concernés à travers des échanges structurés ou des groupes de travail. Ces espaces d'échanges doivent offrir la possibilité de présenter les intérêts et limites des exosquelettes (ce qui permet également de travailler sur les attentes initiales), mais aussi d'ouvrir le dialogue sur ses éventuelles conséquences sur l'organisation du travail et les dynamiques collectives. Ces échanges peuvent permettre au collectif d'anticiper les évolutions possibles des rôles de chacun

dans l'équipe ou encore d'identifier et de discuter des difficultés susceptibles d'émerger (par exemple en termes de coordination des actions). En d'autres termes, ces temps d'échange doivent permettre aux membres du collectif de s'informer, de partager leurs interrogations voire leurs craintes, et surtout d'élaborer collectivement des réponses aux éventuelles nouvelles contraintes de travail plutôt que d'exercer un contrôle social. Finalement, tout comme pour l'utilisateur, une période de familiarisation du collectif est également nécessaire afin que puissent se mettre en place les mécanismes sous-jacents à l'intelligence collective pour faire face au changement et gérer l'évolution de la situation de travail avec exosquelette.

La facilité d'utilisation quant à elle impacte toutes les étapes. Or cette dernière relève principalement du processus de conception du dispositif, et dépend de l'adéquation entre l'exosquelette retenu et les besoins des utilisateurs tels que définis lors des premières étapes de l'intégration. Dès lors, il s'avère difficile de l'améliorer une fois le dispositif acheté, ce qui rend d'autant plus cruciales les étapes conduisant au choix du dispositif.

Test
d'exosquelette
lors d'une
opération
de changement
de moules,
dans une usine
de fabrication
de flacons
en verre.



© Gael Kerbaol / INRS / 2024



L'adoption: l'évaluer et planifier son suivi

Les évaluations formulées par les utilisateurs concernant la qualité de leur interaction avec le dispositif peuvent être stables mais aussi évoluer dans le temps. Ce constat soulève la question de la validité des évaluations, en particulier lorsqu'elles ne sont réalisées qu'à une seule reprise au cours du projet d'intégration. Ainsi, plusieurs séquences d'évaluation réparties tout au long du processus d'intégration sont à prévoir dès le début du projet; *a minima* en pré-adoption, une à l'issue de la familiarisation, puis régulièrement quand l'usage devient pérenne. L'évaluation en pré-adoption apporte des informations, en amont du projet, qui permettent d'identifier les freins et les leviers issus de la représentation que se fait l'utilisateur du dispositif, et ainsi d'apporter des actions correctives très tôt. L'évaluation à l'étape de la familiarisation, période charnière comprenant une mise à l'épreuve de l'exosquelette en situation réelle de travail pour construire progressivement l'usage (adaptation et explorations), s'avère propice aux

évaluations instables. Par conséquent, plusieurs évaluations peuvent se faire sur cette période afin de repérer quand ces dernières se stabilisent.

Par ailleurs, les adaptations et explorations étant propres à chaque utilisateur, il n'existe pas de durée universelle pour cette séquence de familiarisation. Il est nécessaire de laisser du temps aux utilisateurs et de ne pas arbitrer un projet pendant cette étape, sauf cas particulier où il y aurait de trop fortes inadéquations entre le dispositif et l'utilisateur.

Conclusion

L'intégration et l'adoption des exosquelettes professionnels en entreprise engagent une dynamique organisationnelle, sociale et individuelle. Ce processus, qui s'inscrit dans le temps, s'avère complexe. Les repères proposés ici visent à aider les préventeurs à s'organiser et à agir de manière proactive lorsqu'ils accompagnent des entreprises qui intègrent ce type de technologie. L'INRS met à disposition plusieurs documents et outils pour les accompagner aux différentes étapes [2,20,21]. ●

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **NORME NF X35-800** – *Ergonomie. Méthode d'intégration des dispositifs et robots d'assistance physique à contention de type exosquelette – Expression des besoins, sélection, conception, évaluation et déploiement*. Afnor, 2023. Accessible sur: www.afnor.org (site payant).
- [2] **INRS** – *Nouvelles technologies d'assistance physique (exosquelettes, robots...)*. Comment réussir leur intégration? ED 6531, 2024. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206531>
- [3] **BOBILLIER-CHAUMON M.E., DUBOIS M.** – L'adoption des technologies en situation professionnelle: quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation? *Le travail humain*, 2009, 72, 4, pp. 355-382.
- [4] **VENKATESH V. ET AL.** – User acceptance of information technology: toward a unified view. *MIS quarterly*, 2003, pp. 425-478.
- [5] **SCHWERHA D.J. ET AL.** – Adoption potential of occupational exoskeletons in diverse enterprises engaged in manufacturing tasks. *International journal of industrial ergonomics*, 2021, 82, 103103.
- [6] **GAN W.Y. ET AL.** – Industrial practitioner's perception on the application of exoskeleton system in automotive assembly industries: A Malaysian case study. *Heliyon*, 2024, 10, 4, e26183, 12 p.
- [7] **DE GRAAF M.M. ET AL.** – Long-term evaluation of a social robot in real homes. *Interaction studies*, 2016, 17, 3, pp. 462-491.
- [8] **CHO M. ET AL.** – How do people adapt to use of an IoT air purifier? From low expectation to minimal use. *International journal of design*, 2019, 13, 3, pp. 21-38.
- [9] **KIM S. ET AL.** – Usability, user acceptance, and health outcomes of arm-support exoskeleton use in automotive assembly: an 18-month field study. *Journal of occupational and environmental medicine*, 2022, 64, 3, pp. 202-211.
- [10] **DUFRAISSE M. ET AL.** – From unknown to familiar: an exploratory longitudinal field study on occupational exoskeletons adoption. *Applied ergonomics*, 2025, 122, 104393.
- [11] **PAPP-SCHMITT E. ET AL.** – *Embodied experience of exoskeleton*. In: GRAY C. ET AL. (eds.) – *Design research society 2024: research papers*. Accessible sur: <https://dl.designresearchsociety.org/drs-conference-papers/drs2024/researchpapers/317/>
- [12] **DE VIGNEMONT F.** – Embodiment, ownership and disownership. *Consciousness and cognition*, 2011, 20, 1, pp. 82-93.
- [13] **DUFRAISSE M. ET AL.** – Embodiment of occupational exoskeletons as developing a sense of ownership and readiness-to-hand: laboratory and field explorations. *Human factors*, 2026, 68, 2, pp. 239-259.
- [14] **DUFRAISSE M. ET AL.** – Becoming a user: understanding the journeys towards the adoption of occupational exoskeletons. *International journal of human-computer interaction*, 2026, 42, 7, pp. 5063-5083.
- [15] **LIMAYEM M. ET AL.** – How habit limits the predictive power of intention: the case of information systems continuance. *MIS Quarterly*, 2007, 31, 4.
- [16] **BHATTACHERJEE A.** – Understanding information systems continuance: an expectation-confirmation model. *MIS Quarterly*, 2001, 25, 3, pp. 351-370.
- [17] **NUGIER A. ET AL.** – Influence de l'appartenance groupale sur les réactions émotionnelles au contrôle social informel. *L'Année psychologique*, 2009, 109, 1, pp. 61-81. Accessible sur: <https://doi.org/10.3917/anpsy.091.0061>
- [18] **ATAIN-KOUADIO J.J. ET AL.** – Activités individuelle et collective de tireurs d'enrobé: conséquences de l'usage d'un exosquelette robotisé. *Hygiène & sécurité du travail*, 2021, 265, EC 33, pp. 74-79. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=EC%2033>
- [19] **BIRAUD F.** – *Les dynamiques collectives lors de l'intégration des exosquelettes en entreprise*. Mémoire de master 2 de psychologie sociale, du travail et des organisations, 2024, université de Lorraine.
- [20] **WIOLAND L. ET AL.** – Questionnaire révisé sur l'acceptation des exosquelettes professionnels et méthode de notation. *Références en santé au travail*, 2025, TM 88, pp. 49-65. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2088>
- [21] **WIOLAND L. ET AL.** – Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels: actions en termes de prévention. *Références en santé au travail*, 2024, TF 322, pp. 55-67. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TF%20322>

INTÉGRATION DES EXOSQUELETES DANS LE SECTEUR DE L'AIDE À DOMICILE (2021-2025)

Dans le cadre d'un projet national, un exosquelette a été testé pour réduire la charge physique des aides à domicile, face à la diversité des situations de travail et aux risques du métier. Impliquant les professionnels et associant recherche et terrain, cette démarche collaborative visait à adapter cette technologie pour mieux contribuer à prévenir les troubles musculosquelettiques.

MATHIEU
GUITTENNE
Service
Exploitation
– qualité –
innovation,
réseau
Auxi'life

Contexte

L'environnement de travail des aides à domicile se caractérise par une forte variabilité, liée à l'organisation propre à chaque logement et à la diversité des prestations effectuées. Cette diversité rend parfois les mesures de prévention traditionnelles peu efficaces, ce qui ne freine pas l'augmentation de la sinistralité dans ce secteur. Dans ce contexte, l'exosquelette s'est imposé comme une solution technologique prometteuse pour atténuer la charge physique pesant sur les opérateurs, identifiée comme l'un des principaux facteurs de survenue des troubles musculosquelettiques (TMS) et d'accidents du travail. Pour évaluer précisément les bénéfices et contraintes associés à cette technologie, le réseau Auxi'life a lancé à l'échelle nationale un projet combinant travaux en laboratoire et observations sur le terrain. Ce projet a fait appel à l'intelligence collective en associant activement les professionnels concernés *via* des ateliers de créativité, afin de mieux comprendre leurs besoins et d'adapter les solutions proposées aux réalités de leur activité. Par ailleurs, une thèse (financée par le dispositif Cifre¹) a été menée au sein de l'entreprise, en collaboration avec la Carsat Rhône-Alpes et l'INRS, soulignant l'intérêt de la contribution active des entreprises à la recherche en matière de prévention.

Dans le secteur de l'aide à domicile, la prévention passe généralement par une évaluation initiale des domiciles, donnant lieu à la formulation de préconisations d'aménagement adressées aux familles et aux bénéficiaires. Elles peuvent donner lieu à l'adaptation du logement, au réaménagement de certaines pièces ou encore à l'installation et l'utilisation d'aides techniques. L'adaptation du

logement (modification d'une salle de bain pour l'adapter aux mobilités réduites) et l'utilisation d'aides techniques apparaissent comme les principaux moyens de prévention des TMS sur le lieu de travail. Des formations spécifiques aux métiers – mobilité déplacements, utilisation des aides techniques, aide à la toilette, accompagnement à la mobilité (ALM)² [11] – permettent de faire monter en compétences les professionnels exposés à ces situations. Enfin, d'autres moyens plus marginaux, comme le soutien d'ergothérapeutes et de psychologues, peuvent aider à prévenir le risque de TMS. Toutefois, les capacités d'action de chaque agence sur les conditions de réalisation du travail de ses intervenants sont limitées, car elles nécessitent dans de nombreux cas une négociation avec les personnes accompagnées pour pouvoir être mises en place. Les spécificités des métiers évoquées précédemment rendent les méthodes et moyens de prévention plus aléatoires au domicile que dans des métiers effectués au sein d'une entreprise ou d'un établissement de santé (hôpital, Ehpad).

Dans ce contexte où les actions de prévention ne permettent pas suffisamment de limiter les risques professionnels et la contrainte physique, les exosquelettes apparaissent comme une solution innovante intéressante. Les cas d'usages dans le milieu de la santé se multiplient, portés par des études scientifiques qui démontrent de réels bénéfices sur les mouvements assistés par ces dispositifs.

Les effets bénéfiques de ce type de dispositif ont été démontrés par différentes études qui montrent que l'utilisation d'exosquelettes en milieu de santé réduit significativement les sollicitations physiques des soignants. Une étude portant sur les tâches de soins révèle une diminution de l'activité



ENCADRÉ

LE SECTEUR DE L'AIDE À DOMICILE

Selon une étude de l'Institut français d'opinion publique (Ifop) et un sondage réalisé par Odoxa en mai 2021, 85 % des Français souhaitent vieillir à domicile, et 80 % attendent que les politiques publiques incitent au maintien à domicile, une volonté de plus en plus marquée avec l'âge (92 % chez les 65 ans et plus) [1,2]. Si les personnes âgées d'au moins 65 ans représentaient 20,5 % de la population en 2020, les projections indiquent qu'elles devraient représenter plus de 25 % de la population en 2040 et jusqu'à 28,7 % en 2070 [3]. À partir de 2025, la tranche des plus de 75 ans sera la part de la population qui connaîtra la plus grande augmentation, passant de 10,8 % à 17,9 % [3].

Pour accompagner cette croissance démographique, la France (hors Mayotte) comptait en 2022 1 135 000 professionnels du social. Les aides à domicile représentent 42 % de ces effectifs, avec 475 000 professionnels [4]. Pourtant, la profession fait face à de réelles difficultés de recrutement, qui apparaissent d'ailleurs comme la première difficulté rencontrée dans l'exercice de leur profession par 89 % des dirigeants du secteur. Ce phénomène peut notamment s'expliquer par le manque d'attractivité des métiers (faible rémunération, mobilité nécessaire, amplitudes horaires importantes), par l'effet miroir qui confronte

chacun à sa propre déchéance, par la faible reconnaissance de ces professions, mais surtout par les contraintes physiques ressenties lors de l'aide à la mobilité, lourdement associées à la présence de troubles musculosquelettiques (TMS).

Ainsi, le métier d'aide à domicile, identifié par le code NAF 8810A, présente un indice de fréquence des accidents du travail de 87,6 en 2023 contre 26,8 au niveau national (tous secteurs d'activité confondus), ce qui en fait le deuxième secteur le plus touché de France [5]. Selon l'INRS, « la manutention de personnes est à l'origine de l'essentiel des maladies professionnelles » [6]. Or, dans le secteur des services à la personne, les aides à la toilette et les transferts de personnes représentent une part majeure des activités quotidiennes. En observant 421 tâches réalisées sur le terrain, Owen et Staehler concluent d'ailleurs que les actions réalisées lors des aides à la toilette et aux transferts (lors du coucher ou du lever) sont les plus traumatisantes et les plus contraignantes pour le corps [7]. Dans ce secteur, les TMS causent chaque année la perte de près de 2,3 millions de journées de travail, soit plus de 10 000 équivalents temps plein. Ils représentent 95 % des maladies professionnelles du secteur, qui affiche un indice de fréquence près de trois fois supérieur à la moyenne nationale [8].

Si ces chiffres sont éloquentes, ils ne représentent en réalité qu'une partie de la problématique du fait d'un taux important de sous-déclarations. Selon les estimations de Santé publique France, ce taux atteignait en 2011 « 53 % pour les TMS du rachis lombaire, 60 % pour les syndromes du canal carpien, 62 % pour les TMS de l'épaule, et 73 % pour les TMS du coude » [9].

Certaines données récentes appuient ainsi l'idée selon laquelle les professionnels de santé, et plus particulièrement les aides à domicile, continuent d'exercer malgré leur mal de dos [10]. Pour une proportion significative d'entre eux, la conscience des conséquences directes de l'absentéisme sur la qualité de vie des personnes accompagnées les freine à évoquer leurs douleurs, et donc à engager la reconnaissance d'un TMS. Cet aspect s'explique par un sentiment de culpabilité, manifesté par la crainte de « délaisser » un bénéficiaire vulnérable ou de surcharger ses propres collègues. Ce mécanisme pousse une partie des professionnels à continuer à travailler sans adaptations ni appui des solutions techniques et organisationnelles préconisées, afin d'assurer coûte que coûte une continuité de service. Cet engagement individuel enracine paradoxalement le problème des TMS et présente un risque majeur d'en aggraver les conséquences à long terme.

musculaire des épaules allant jusqu'à 50 %, ainsi qu'une réduction des contraintes mécaniques de près de 70 % [12]. Par ailleurs, les retours des utilisateurs sont également très favorables : la majorité des infirmières rapportent une meilleure posture, une réduction des postures à risque et une diminution de la fatigue [13]. C'est ce constat qui a incité le réseau Auxi'life à s'intéresser aux exosquelettes dès 2020, ce qui s'est concrétisé par une thèse Cifre réalisée par Mathieu Guittienne en collaboration avec le LIBM (Laboratoire interuniversitaire de biologie de la motricité) entre 2021 et 2024 [14]. Ces travaux ont porté sur une évaluation multidimensionnelle du port d'exosquelette dans le contexte du travail au domicile des personnes

accompagnées. La particularité de ce projet réside dans la comparaison de résultats en laboratoire et sur le terrain, permettant de vérifier des effets observés en environnement contrôlé et en conditions réelles de travail. Cette analyse comparative présente l'intérêt de mesurer objectivement l'impact des exosquelettes, en s'affranchissant des biais environnementaux, puis de confronter ces résultats aux conditions réelles d'utilisation.

Les professionnels des agences Auxi'life ont été pleinement impliqués dans la préparation des tests terrain à travers des ateliers de créativité menés conjointement avec le Tasda (Technopole Alpes santé à domicile et autonomie) en 2023 dans des

agences de Normandie, d'Île-de-France, de Centre – Val-de-Loire et d'Auvergne – Rhône – Alpes. Ces ateliers réunissant une dizaine de professionnels dans chaque territoire ont été l'occasion de définir les conditions facilitant l'intégration des exosquelettes dans les pratiques métiers. Cette dynamique collective a permis de réunir des problématiques individuelles en thématiques communes telles que la prévention des contraintes physiques lors des transferts. Durant trois heures, les professionnels ont pu échanger sur leurs difficultés, leurs compétences et les ressources disponibles pour réaliser des prestations d'aide à la personne. L'exosquelette émergeait alors comme une solution à tester pour soulager la contrainte physique, faisant consensus comme étant l'une des principales problématiques pour les professionnels.

Partie expérimentale

Deux études distinctes et complémentaires ont été menées, la deuxième s'appuyant sur les résultats de la première.

Étude n° 1 en laboratoire

L'objectif de cette étude était d'investiguer en environnement contrôlé l'effet de trois exosquelettes, lors de tâches simulées de manipulation au lit, sur les paramètres électromyographiques, posturaux et de perception de l'effort. Nous faisons l'hypothèse que les exosquelettes permettraient de diminuer l'effort perçu et l'activité musculaire agoniste au mouvement étudié.

→ Méthode

Dix-neuf sujets (seize femmes et trois hommes) sans problématiques de santé, issus de l'Institut de formation en soins infirmiers (IFSI) et d'aides-soignants (IFAS) de Chambéry, ont participé à l'expérimentation. Le protocole de mesure a consisté à reproduire une tâche courante de mobilisation de bénéficiaire au lit identifiée comme une problématique importante de traumatisme des épaules et du bas du dos chez les aides à domicile. Un sac lesté de 25 kg, qui correspond théoriquement à la masse maximale pouvant être manipulée par un travailleur, a été utilisé.



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2023



Sur la base des recommandations de Rayssiguier et Erden [15], ont été sélectionnés les exosquelettes suivants :

- Hapo Front et Hapo, tous deux développés par la société Ergosanté, qui sont des exosquelettes passifs respectivement dédiés à l'assistance des membres supérieurs et du bas du dos ;
- l'exosquelette actif Japet.W, développé par la société Japet Medical Devices France, qui applique une force de traction verticale afin de réduire la pression au niveau du rachis lombaire.

Afin d'évaluer les effets de ces trois dispositifs au cours de la tâche simulée, l'activité électrique des muscles fléchisseurs superficiels des doigts (impliqués dans les mouvements de préhension), deltoïdes antérieurs (impliqués dans l'extension des bras) et longissimus (impliqués dans l'extension et le contrôle de la flexion du tronc) a été enregistrée de manière bilatérale. Les résultats sont exprimés par muscle et de manière globale, correspondant à l'activité simultanée des types de trois muscles étudiés. Des données posturales ont également été analysées ainsi que des paramètres subjectifs liés à la perception de l'effort. La « condition contrôle » correspond à la condition réalisée sans exosquelette.

→ Résultats

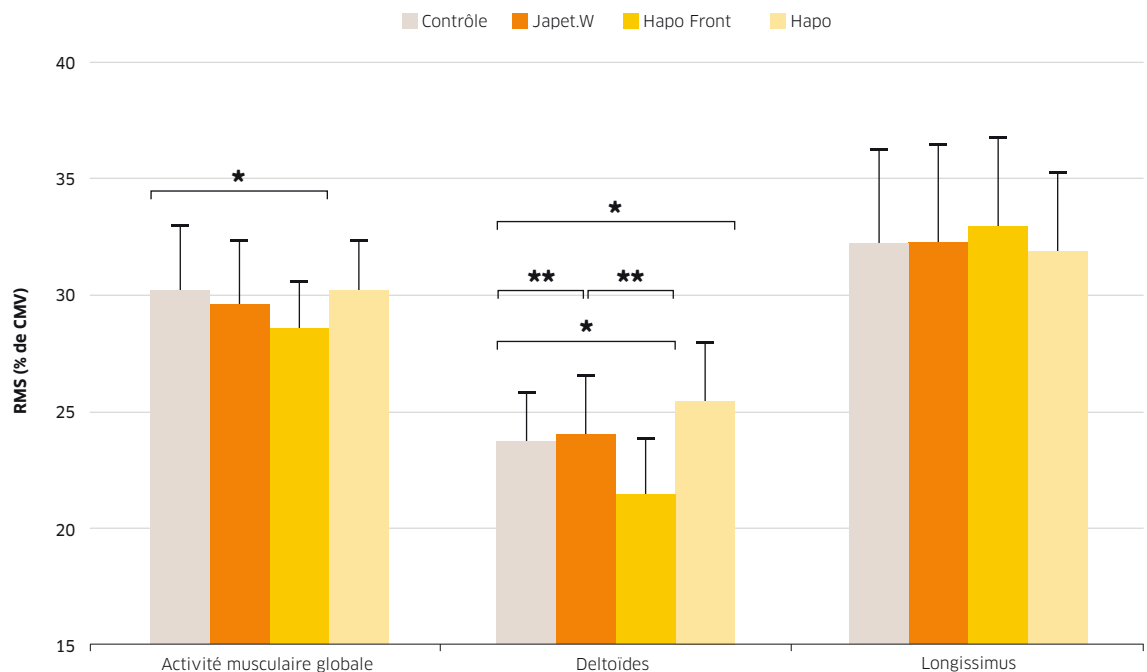
Les résultats montrent un effet significatif de l'utilisation de l'exosquelette Hapo Front sur l'activité musculaire globale qui s'explique par la dimi-

nution de l'activité des deltoïdes (Cf. Figure 1). L'utilisation du Hapo Front a ainsi diminué l'activité musculaire globale de 5,6 %, et l'activité des deltoïdes de 9,7 % par rapport à la condition contrôle.

Par ailleurs, le port d'un exosquelette est associé à une diminution de la perception de l'effort. C'est particulièrement le cas du Japet.W et du Hapo Front, qui diminuent tous deux la perception de l'effort, et ce respectivement de 42 % et de 25 % par rapport à la condition contrôle (Cf. Tableau 1). L'exosquelette Japet.W apparaît comme étant largement plébiscité par les sujets. Ceci s'explique notamment par le maintien du dos et la décompression du rachis lombaire qu'il procure.

L'exosquelette Hapo Front permet une réduction de 10 % de l'activité musculaire des deltoïdes et une diminution de 5,6 % de l'activité musculaire globale, tandis que l'exosquelette Japet.W, bien qu'il n'ait aucun effet sur l'activité musculaire, n'altère pas la posture, et constitue le dispositif préféré des sujets. Par conséquent, la combinaison d'une assistance passive pour les épaules et d'une assistance active pour le bas du dos apparaîtrait comme une piste intéressante pour maximiser les effets bénéfiques des exosquelettes tels que nous avons pu les mesurer. L'assistance passive pour les épaules permettrait de réduire le poids et l'encombrement du dispositif sur les membres supérieurs tout en fournissant une assistance

FIGURE 1 →
Effets des trois types d'exosquelettes sur l'activité musculaire par rapport à la condition contrôle.



* Résultat significatif au seuil de 0,05 (moins de 5 % de risque que ce soit un hasard).

** Résultat plus robuste au seuil de 0,01 (moins de 1 %).

← **TABLEAU 1**
Résumé des
effets des
exosquelettes
par rapport
à la condition
contrôle (sans
exosquelette).

DIFFÉRENCES SIGNIFICATIVES PAR RAPPORT À LA CONDITION CONTRÔLE	 JAPET.W	 HAPO FRONT	 HAPO
Activité musculaire globale	Ns	- 5,6 %	Ns
Activité musculaire des deltoïdes	Ns	- 9,7 %	+ 7,6 %
Effort perçu*	- 29 %	- 19 %	- 21 %
Amplitude articulaire des épaules redressement	Ns	+ 28,5 %	Ns
Évaluation subjective par les testeurs			 **

Ns = non significatif. Les écarts en pourcentage sont exprimés par rapport à la condition contrôle dont la valeur fait office de référence.

*Mesuré selon l'échelle de perception CR10 de Borg. Gunnar Borg, Borg's Perceived Exertion and Pain Scales, Champaign (Ill.), Human Kinetics, 1998.

**Classement des conditions réalisé par chaque sujet de la condition la plus facilitante à la moins facilitante – Échelle de 1 à 4 (3 exosquelettes + contrôle). La somme des notes attribuées à chaque condition a permis d'établir un classement par médailles.

satisfaisante. L'assistance active pour le bas du dos fournie par la ceinture Japet.W serait, pour sa part, plébiscitée par les sujets, car elle offre selon eux un bon soutien dorsal et conserverait la fluidité des mouvements du tronc.

Transition laboratoire – terrain

Si les mesures en laboratoire ont l'intérêt d'être reproductibles, elles ne représentent pas la complexité du métier et des tâches à réaliser dans le milieu réel et habituel de travail. En effet, la réalisation d'une toilette ou d'un transfert en situation réelle de travail nécessite une approche bien différente d'un simple lever de charge puisqu'il implique de manipuler une personne, dans son environnement [15]. La seconde partie du travail a ainsi constitué à évaluer l'usage des exosquelettes Hapo Front, Hapo et Japet.W et leurs effets sur l'activité musculaire auprès d'une population d'aides à domicile du réseau Auxilife au cours de tâches de toilette et de transfert.

Étude n° 2 sur le terrain

Sur la base des résultats issus du laboratoire et des enseignements tirés des ateliers de créativité, l'étude de terrain a visé à mesurer les paramètres objectifs et subjectifs en conditions réelles de travail lors de tâches de toilette et de transferts.

→ Méthode

Cinq aides à domicile Auxilife de cinq agences différentes ont testé les trois mêmes dispositifs lors d'intervention à domicile d'aide à la toilette et au transfert. Le choix des agences a été fait selon les critères suivants :

- variété de milieux d'intervention (urbain, semi-urbain, rural) ;

- activité d'aide aux personnes en situation de handicap (PH) ;
- proximité géographique avec le laboratoire LIBM ;
- agences ayant participé aux ateliers de créativité si possible.

L'expérimentation s'est ainsi déroulée au sein des agences de Caen, qui présentait une part de PH majoritaire ; de Paris pour son activité urbaine ; et de Saint-Quentin-Fallavier, Vienne et Valence pour leur proximité géographique et la diversité des prestations et milieux d'intervention proposés. L'organisation s'est appuyée sur les responsables d'agence et de secteurs des agences concernées, à qui une note d'information précisant les besoins expérimentaux a été transmise. Il était spécifié la nécessité de prévoir « quatre interventions similaires au domicile du même bénéficiaire (ou si non possible dans des conditions très ressemblantes) » pour chaque professionnel. Ces demandes étant conditionnées par l'accord préalable des bénéficiaires à la présence de l'expérimentateur lors des prestations, spécifiquement lors des aides à la toilette et aux transferts, dont le déroulement était transmis par une note d'information. Enfin, les mesures en situation réelle devaient intervenir après une première mise en situation en salle, afin de présenter les exosquelettes utilisés et d'enregistrer l'activité musculaire de référence des professionnels sélectionnés. Cette complexité a demandé une adaptation constante pour être mise en place dans les meilleures conditions.

Afin d'évaluer l'effet des exosquelettes, des paramètres tant objectifs que subjectifs ont été mesurés. D'une part, l'activité musculaire des trapèzes, des deltoïdes et des longissimus a été enregistrée par électromyographie (EMG) de surface. D'autre part, une évaluation subjective a été réalisée, por-



tant sur l'effort perçu ainsi que sur le classement des conditions de travail, de la plus facilitante à la moins facilitante. À la suite de différents biais de mesures, un sujet a été écarté de l'analyse.

→ Résultats

Concernant l'analyse des données issues des muscles deltoïdes et longissimus, les résultats montrent que :

- l'exosquelette Hapo Front produit un effet bénéfique sur l'activité musculaire des deltoïdes, permettant une diminution de 18 % à 48 % pour les quatre sujets analysés. L'activité des longissimus ne semble pas être altérée par le port de ce dispositif puisqu'il permet une diminution importante pour un sujet (-60 %), une très faible variation (1 %) pour deux sujets et une augmentation de 9 % pour le dernier sujet ;
- l'exosquelette Japet.W semble présenter des effets bénéfiques sur les longissimus puisqu'il diminue l'activité musculaire par rapport à la condition contrôle pour trois sujets (de 9 % à 68 %) et l'augmente dans des proportions relativement faibles (3 %) pour le dernier sujet. L'utilisation du Japet.W diminue également l'activité des deltoïdes pour trois sujets par rapport à la condition contrôle (de -23 % à -32 %) mais l'augmente pour un sujet (+ 12 %) ;
- l'utilisation de l'exosquelette Hapo ne permet pas d'observer de consensus sur l'activité musculaire. En effet, ce dernier diminue d'une part l'activité des longissimus pour deux sujets (-34 % et -65 %), sans variation spécifique pour les deux autres, et augmente d'autre part l'activité des deltoïdes pour deux sujets (48 % et 111 %) mais la diminue pour les deux autres (-3 % et -22 %) ;
- enfin, l'utilisation des trois exosquelettes semble augmenter l'activité musculaire des trapèzes pour tous les sujets (excepté le sujet n° 1 avec le Hapo Front).

Concernant l'évaluation subjective des dispositifs, elle montre que l'exosquelette Japet.W est le dispositif préféré pour l'ensemble des sujets, permettant notamment selon eux, de préserver une bonne posture, un bon maintien du dos et ne gênant pas le mouvement.

L'exosquelette Hapo arrive en deuxième position. Les points positifs résident dans son aspect léger, sa facilité de mise en place et l'assistance qu'il fournit lors de la flexion de hanche (buste penché vers l'avant). En revanche, la résistance à la flexion opposée par le dispositif, qui procure par ailleurs son assistance, limite la possibilité de s'accroupir et de marcher lorsqu'il est embrayé, ce qui présente un inconvénient certain. Il bénéficie d'un meilleur jugement que lors de l'expérimentation réalisée en laboratoire.

En troisième position arrive l'exosquelette Hapo

Front. Ses avantages ressentis résident dans l'assistance qu'il procure à l'élévation des bras ou le maintien d'une position prolongée des bras vers l'avant, souvent adoptée lors d'une toilette. En revanche, les points négatifs se concentrent sur son aspect volumineux, son manque de discrétion et la gêne dans certains mouvements des bras.

Enfin, en dernière position, la condition de « contrôle sans exosquelette » apparaît comme la plus pénible. Si la liberté de mouvements représente son principal avantage, le manque d'assistance et le ressenti de tous les efforts réalisés en font la condition la plus difficile pour les sujets.

Discussion

L'effet des exosquelettes demeure assez contrasté sur l'activité musculaire globale. Le Hapo Front semble diminuer l'activité des deltoïdes de 18,5 % à 48,4 % pour quatre sujets sur cinq. Ces résultats sont d'ailleurs en cohérence avec ceux issus de l'expérimentation réalisée en laboratoire. Avec les deux autres exosquelettes consacrés à l'assistance du dos, le Japet.W et le Hapo, qui induisent des effets localisés sur ces muscles, et de manière plus certaine, les effets positifs se concentrent sur les longissimus. Par ailleurs, les sujets plébiscitent l'utilisation des exosquelettes pour faciliter leur travail, et ce malgré certains inconvénients. Les effets bénéfiques de ces dispositifs s'observent de manière plus évidente sur le classement effectué par les sujets. Ces derniers expriment un réel intérêt et ressentent un effet bénéfique indéniable de l'exosquelette Japet.W, dispositif déjà distingué lors de l'expérimentation laboratoire et qui se classe ici comme la condition préférée pour l'intégralité des sujets.

À la question complémentaire à ce classement : « Si vous pouviez partir avec un dispositif, en prendriez-vous un, et si oui lequel ? », quatre sujets ont répondu vouloir prendre le Japet.W (un sujet n'a pas souhaité en être équipé pour le moment). Au-delà des bénéfices ressentis lors de l'expérimentation, cette intention d'usage démontre que les sujets se projettent facilement vers une utilisation en autonomie de ce dispositif dans leur pratique quotidienne. Le Japet.W est associé à des points positifs axés sur l'utilité perçue et le plaisir d'utilisation, qui favorisent l'acceptabilité du dispositif [16].

La toilette au lit impose à l'aide à domicile une flexion du tronc prolongée au cours de laquelle l'assistance du Hapo est largement bénéfique. Toutefois, la toilette nécessite souvent de se déplacer pour changer l'eau de la baignoire, prendre des affaires posées sur un meuble, ou de se baisser pour récupérer du matériel, débrancher une prise ou préparer le transfert. La facilité de débrayage des dispositifs semble être un critère prédominant dans l'acceptation de ces derniers, sans quoi, la gêne au déplacement et dans les mouvements limite leur intérêt.

Conclusion

Le port d'exosquelettes pourrait offrir une solution pour réduire, voire supprimer les contraintes auxquelles sont confrontés les aides à domicile, principalement lors des aides à la toilette et aux transferts. L'intérêt principal de ce type de solution réside dans le fait qu'elle est directement portée par l'utilisateur. Cette particularité pourrait limiter la dépendance aux choix d'aménagement faits par les bénéficiaires et favoriser son utilisation dans des environnements de travail variés. Il faut toutefois que les exosquelettes utilisés ne soient pas eux-mêmes encombrants et qu'ils puissent s'intégrer dans l'environnement du domicile.

L'éventualité d'intégration d'exosquelettes dans les métiers de l'aide à domicile impose également de se soucier de l'organisation du travail. À ce sujet, les conclusions du Tasda préconisent de :

- s'assurer de la compatibilité de l'exosquelette avec les autres ressources matérielles présentes au domicile;
- prévoir les outils et process pour réguler les imprévus qui émergeront au fil de l'usage;
- prévoir les outils, processus et temps dédiés à l'hygiène, l'entretien et la maintenance des dispositifs;
- questionner les responsabilités et les risques liés à l'utilisation;
- formaliser les critères d'attribution et de retrait d'un exosquelette.

C'est dans cette logique qu'a été initiée en février 2026 une nouvelle expérimentation, longitudinale cette fois, au sein de l'agence AL58 à Decize, soutenue par l'ARS de Bourgogne - Franche-Comté. Quatre exosquelettes y sont actuellement testés au quotidien par quatre professionnels de l'agence, afin de rendre compte de leur utilisation sur le moyen et long terme.

Pour conclure ce travail, il semble indispensable de rappeler que les exosquelettes ne peuvent pas remplacer les mesures de prévention et doivent, de toute évidence, s'inscrire dans le cadre d'une démarche globale de prévention des risques professionnels.³ ●

1. *Le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (Cifre) permet à l'entreprise de bénéficier d'une aide financière pour recruter un jeune doctorant dont les travaux de recherche, encadrés par un laboratoire public de recherche, conduiront à la soutenance d'une thèse.*

2. *La démarche ALM (accompagner la mobilité de la personne aidée en prenant soin de l'autre et de soi) est une démarche de prévention des risques de troubles musculosquelettiques (TMS) liés à la manutention des patients. Elle peut être mise en œuvre tant à domicile qu'en établissement. Elle accompagne notamment des dispositifs de formation démultipliés, tels que Prap-2S (prévention des risques liés à l'activité physique – secteurs sanitaire et social).*

3. *L'auteur remercie le Conseil départemental de l'Isère pour son soutien au projet d'intégration d'exosquelettes dans le secteur de l'aide à domicile.*

BIBLIOGRAPHIE

[1] **IFOP** – *Seniors: « Marché et habitat inclusif, quelle offre de services? »*. Accessible sur: <https://www.ifop.com/publication/seniors-marche-et-habitat-inclusif-quelle-offre-de-services/>

[2] **MINISTÈRE DE LA SANTÉ, DES FAMILLES, DE L'AUTONOMIE ET DES PERSONNES HANDICAPÉES** – *Faciliter le choix de vieillir à domicile*. 2022 (mise à jour 2026). Accessible sur: <https://solidarites.gouv.fr/faciliter-le-choix-de-vieillir-domicile>

[3] **INSEE** – *Population par âge – Tableaux de l'économie française*. 2020. Accessible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277619?sommaire=4318291>

[4] **DREES** – *Effectifs et caractéristiques des professionnelles du social*. 2025. Accessible sur: https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/communiqu-de-presse-jeux-de-donnees/jeux-de-donnees/250520_DATA_effectifs-et-caracteristiques-des

[5] **SÉCURITÉ SOCIALE** – *Fréquence des accidents du travail dans les secteurs à plus fort risque*. 2023. Accessible sur: <https://evaluation.securite-sociale.fr/home/at-mp/212-frequence-des-accidents-du-t.html>

[6] **INRS** – *Secteurs de la santé et de l'aide à la personne: accidents du travail et maladies*

professionnelles. 2023. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/metiers/sante-aide-personne.html>

[7] **OWEN B.D., STAEHLER K.S.** – *Decreasing back stress in home care. Home Healthcare Nurse*. 2003, 21, 3, pp. 180-186. Accessible sur: [10.1097/00004045-200303000-00014](https://www.santepubliquefrance.fr)

[8] **ASSURANCE MALADIE** – *Livrets de sinistralité pour chaque secteur d'activité (CTN) – 2007 à 2021*. 2022. Accessible sur: <https://www.assurance-maladie.ameli.fr/etudes-et-donnees/sinistralite-atmp-secteur-activite-ctn>

[9] **SANTÉ PUBLIQUE FRANCE** – *Surveillance épidémiologique des troubles musculo-squelettiques*. 2011. Accessible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr>

[10] **PETER K.A. ET AL.** – *Extent and predictors of presenteeism among healthcare professionals working in Swiss hospitals, nursing homes and home care organizations. Scientific Reports*, 2023, 13, 1, p. 12042. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39113-6>

[11] **INRS** – *Démarche ALM: accompagner la mobilité de la personne en prenant soin de l'autre et de soi*. 2023. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/metiers/sante-aide-personne/demarche-alm.html>

[12] **ARNOUX B. ET AL.** – *Evaluation of a passive upper limb exoskeleton in healthcare workers during a surgical Instrument cleaning task. International journal of environmental research and public health*, 2023, 20, 4, p. 3153. Accessible sur: [10.3390/ijerph20043153](https://doi.org/10.3390/ijerph20043153)

[13] **FARAH S. ET AL.** – *Assessment of exoskeletons on nurses' quality of work life: a pilot study at Foch hospital. Nursing Reports*. 2023, 13, 2, pp. 780-791. Accessible sur: [10.3390/nursrep13020068](https://doi.org/10.3390/nursrep13020068)

[14] **GUITTENNE M.** – *Amélioration des conditions de travail dans les SAAD par apport d'un nouveau dispositif d'assistance physique de type exosquelette*. LIBM, Thèse de doctorat, Université Savoie – Mont Blanc (en partenariat avec le réseau Aux'life), 2024. Accessible sur: <https://theses.fr/2024CHAMA042>

[15] **RAYSSIGUIER A., ERDEN M.S.** – *A review of exoskeletons considering nurses. Sensors*, 2022, 22, 18, p. 7035. Accessible sur: [https://DOI: 10.3390/s22187035](https://doi.org/10.3390/s22187035)

[16] **TURJA T. ET AL.** – *Intention to use exoskeletons in geriatric care work: need for ergonomic and social design. Ergonomics in design*, 2020, 30, 2, pp. 13-16. Accessible sur: <https://doi.org/10.1177/1064804620961577>

DE L'EXPÉRIMENTATION TERRAIN AU PROGRAMME D'ENTREPRISE

Les clés d'une trajectoire de cinq ans d'intégration des exosquelettes chez Air France

Air France, en partenariat avec la Cramif, mène depuis plusieurs années une expérimentation d'intégration des exosquelettes sur la plateforme de Paris – Charles-de-Gaulle (CDG), afin de prévenir les troubles musculosquelettiques (TMS) chez les agents d'exploitation. L'introduction des technologies d'assistance physique telles que les exosquelettes dans des environnements de travail hautement contraints est un défi d'intégration complexe.

À travers le retour d'expérience d'Air France, cet article retrace cinq années (2021-2026) d'apprentissage, d'ajustements méthodologiques et de transformations collectives. Du chargement des bagages à la maintenance aéronautique, il décrit comment une démarche structurée, inspirée de la norme NF X35-800 et centrée sur l'humain, a permis de transformer des essais isolés en un programme d'entreprise que l'on souhaite pérenne et maîtrisé.

SONIA
SUTTER

Direction de
la sécurité
des vols et
de la maîtrise
des risques,
Air France

LEÏLA NAÏT-
HAMOUD

Direction
de la
maintenance
industrielle,
Air France

Avec la
contribution de:
CATHERINE

MICHAUD
Cramif
(actuellement
Carsat
Rhône-Alpes)

L'assistance physique au prisme de la prévention

Les troubles musculosquelettiques (TMS) constituent depuis plus de deux décennies la première cause de maladie professionnelle en Europe, affectant près de trois travailleurs sur cinq. Face à ce constat, les préventeurs se trouvent parfois confrontés aux limites des mesures de prévention primaire, qu'elles soient techniques ou organisationnelles. C'est dans cette zone grise, là où la contrainte physique ne peut plus être réduite par des moyens collectifs classiques, que la question des technologies d'assistance physique (TAP), et plus particulièrement des exosquelettes professionnels, se pose.

Pourtant, l'histoire de ces dispositifs en entreprise est jalonnée de rendez-vous manqués. Chez Air France, avant 2021, des démarches de tests ponctuels menées dans les secteurs de la maintenance industrielle et du chargement des bagages s'étaient révélées infructueuses. Les équipements évalués à l'époque, lourds (environ 8 kg) et inconfortables,

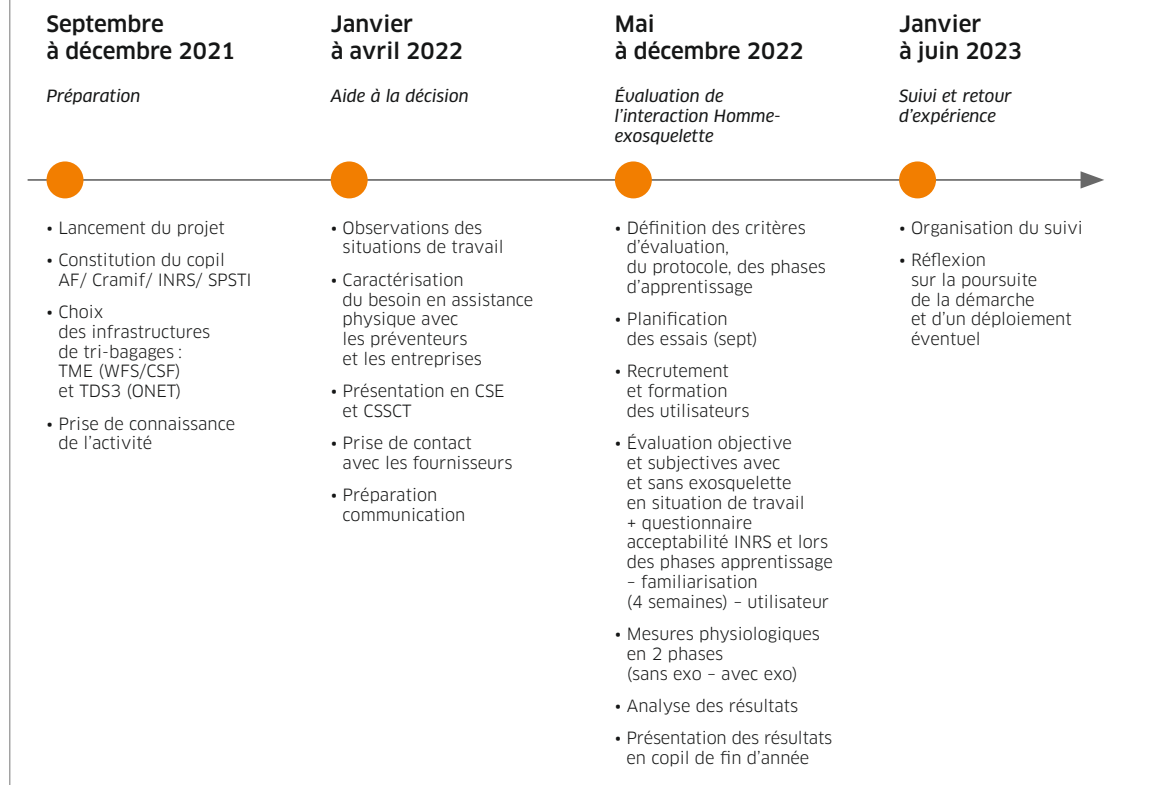
s'étaient heurtés à un rejet massif du terrain. La leçon de ces premiers échecs fut fondamentale: l'exosquelette ne peut être appréhendé comme un simple outil que l'on distribue. Son introduction modifie l'activité de travail, l'équilibre physiologique de l'opérateur et la dynamique du collectif. Cinq ans après le lancement d'une démarche structurée en partenariat avec la Cramif et l'INRS, Air France dispose désormais d'un recul précieux. Cet article retrace cette trajectoire, depuis les premières mesures scientifiques en galerie bagages jusqu'à la mise en œuvre d'un guide interne de déploiement rigoureux au sein de la Direction industrielle.

Acte I (2021-2023): premiers essais en galerie bagages de Roissy – Charles-de-Gaulle

En juillet 2021, le test d'un nouveau modèle d'exosquelette dorsal (le modèle actif rigide Exoback de RB3D) lors des opérations de chargement et déchargement de conteneurs avions en galerie bagages marque le véritable point de départ d'une

DÉMARCHE GLOBALE

SEPTEMBRE 2021 – JUIN 2023



← FIGURE 1
Schéma temporel de la démarche sur 18 mois. Préparation, aide à la décision, évaluation de l'interaction homme-exosquelette, suivi et retour d'expériences.

collaboration scientifique. La Cramif, présente lors de ces essais, propose d'unir ses forces à celles d'Air France et de ses sous-traitants (WFS et Onet) pour mener une étude d'envergure sur la plateforme de Roissy – Charles de Gaulle.

Un protocole d'évaluation pluridisciplinaire et rigoureux

Sous la houlette de Catherine Michaud, contrôleur de sécurité à la Cramif, une étude approfondie est initiée en octobre 2021. Elle associe des responsables d'exploitation, des préventeurs, des ergonomes, l'INRS et des médecins du travail issus de trois entreprises différentes ainsi que de deux services de prévention et de santé au travail interentreprises (SPSTI). L'objectif est d'évaluer l'acceptabilité de plusieurs dispositifs selon une approche scientifique rigoureuse, calquée sur le modèle d'acceptabilité de l'INRS et l'accord normatif (AC Z 68-800, Afnor, 2017; Cf. Rubrique « Pour en savoir plus »).

L'expérimentation cible l'activité particulièrement contraignante de chargement des conteneurs depuis les carrousels de tri. Durant 18 mois (Cf. Figure 1), la démarche se déploie en trois étapes :

- la phase de préparation et de choix des matériels : priorité est donnée à l'accompagnement des mouvements de flexion du tronc lors de manutentions

de charges lourdes. Les critères de choix s'orientent vers des dispositifs de moins de 2 kg dotés d'une fonction de débrayage. Un modèle actif et deux passifs (un rigide et un textile) sont retenus ;

- la phase d'aide à la décision par le test terrain : cinq binômes de volontaires sont formés. Chaque agent dispose d'un exosquelette durant quatre semaines d'activité réelle ;
- l'évaluation de l'interaction homme-machine : des questionnaires d'acceptabilité subjective sont soumis aux étapes clés (T1 : avant test, T2 : après formation, T3 : après les quatre semaines de test). En parallèle, des mesures objectives de cardiofréquence (CFM) sont réalisées afin d'évaluer l'impact du dispositif sur le coût cardiaque des opérateurs.

Des résultats contrastés riches d'enseignements

L'analyse quantitative et qualitative révèle des résultats contrastés :

- une amélioration de la perception physique : tous modèles confondus, on constate une baisse significative de la performance productive perçue¹ entre T1 et T3 ($p = 0,03$ soit seulement 3 % de risque que ce résultat soit dû au hasard) mais celle-ci s'accompagne d'une réduction nette des douleurs et des gênes ressenties au niveau du dos à l'issue de la période de test (T3) ;



- le plébiscite du passif rigide: les testeurs du modèle passif rigide déclarent une meilleure satisfaction globale, une confirmation de leurs attentes initiales et choisissent de poursuivre l'usage du dispositif au-delà du protocole;
- la complexité de l'évaluation physiologique: l'analyse par CFM montre un coût cardiaque particulièrement élevé pour 70 % des enregistrements, que l'opérateur porte ou non un exosquelette. La variabilité extrême des flux de bagages sur la plateforme CDG n'a pas permis de conclure à un effet réducteur net de l'exosquelette sur ce coût cardiaque. De plus, concernant le modèle actif, si l'on note une diminution de la perception des efforts dorsaux, celle-ci s'accompagne d'un coût cardiaque augmenté, probablement lié au poids propre de l'équipement.

Cette première phase montre qu'un environnement aussi contraint et dynamique qu'une galerie bagages rend l'adoption d'une technologie d'assistance physique ardue. C'est fort de ces enseignements que les préventeurs décident, dès janvier 2023, de transposer la démarche vers un secteur d'activité aux processus plus maîtrisés: la maintenance aéronautique.

Acte II (2023-2024): naissance du projet exosquelette pour les activités de maintenance aéronautique

La direction industrielle d'Air France² présente les activités de maintenance, qui comportent des défis ergonomiques majeurs. Les mécaniciens avion interviennent en hangar, sur piste ou en atelier, sur des équipements extrêmement variés (moteurs, cabines, radômes, trains d'atterrissage, etc.). Les postures contraignantes, maintenues sur de longues durées (bras au-dessus des épaules, torsions du tronc), y sont fréquentes.

Pour éviter l'écueil d'une diffusion anarchique des technologies d'assistance, la direction industrielle décide de formaliser un cadre de gouvernance robuste. Sponsorisé par le directeur général adjoint de l'activité et soutenu par le comité exécutif (Comex), le « Projet Exosquelette » est officiellement structuré à l'automne 2023 autour de piliers organisationnels clairs:

- une instance de pilotage dédiée composée du responsable HSE de la direction industrielle, du référent sécurité du travail interne et des responsables HSE des quatre sous-directions concernées;
- une démarche d'intégration formalisée, s'appuyant



directement sur la toute nouvelle norme NF X35-800 publiée par l'Afnor en août 2023 (Cf. *Pour en savoir plus*);

- un parc d'exosquelettes de test centralisé, géré par les ergonomes internes et mis à disposition de certains métiers (mécaniciens cabines, chaudronniers...) à leur demande.

Le guide d'intégration Air France: pas à pas selon la norme NF X35-800

Le document de référence interne développé par la direction de la maîtrise des risques détaille une démarche rigoureuse en neuf étapes. Ce processus garantit qu'aucune machine ne pénètre dans un atelier sans avoir respecté la démarche méthodologique et répondu aux exigences de sécurité strictes (Cf. Figure 2).

Étape 1: L'étude d'opportunité

Avant toute considération technique, il convient d'analyser le contexte et les besoins du secteur demandeur. Cette étude identifie les avantages et inconvénients à recourir aux TAP, évalue les bénéfices attendus, analyse les risques résiduels induits par l'équipement lui-même et mesure son impact potentiel sur l'organisation globale du travail.

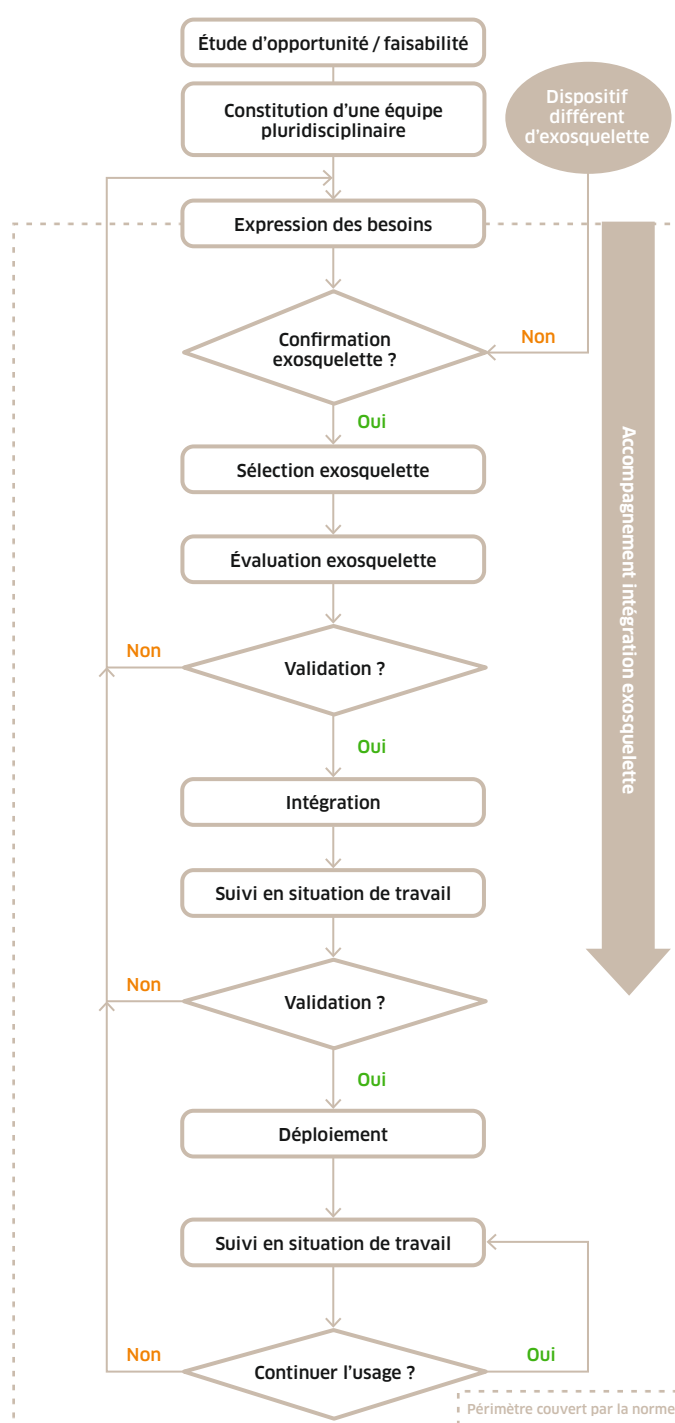
Étape 2: La constitution d'une équipe pluridisciplinaire

L'intégration d'un exosquelette ne peut être le projet d'un acteur isolé. La méthode Air France distingue deux configurations d'équipe selon la maturité du projet:

- pour la phase de test: l'équipe réunit l'ergonome, le préventeur, le médecin du travail, le responsable QSE/HSE du secteur, le manager de proximité et le ou les utilisateurs volontaires;
- pour la phase d'intégration définitive: ce noyau est élargi aux membres du comité de direction (codir) afin de garantir le portage budgétaire et stratégique à long terme.

Étape 3: L'expression des besoins

Cette phase impose d'analyser finement la charge physique de travail et de rechercher systématiquement, au préalable, des pistes de prévention collective ou organisationnelle. En matière de prévention des risques liés à l'activité physique (TMS, etc.), la doctrine d'Air France est stricte: l'exosquelette est envisagé en tout dernier recours. Si aucune autre solution n'est viable, on envisage le recours à l'assistance physique. Dans les activités de maintenance aéronautique, il est courant d'enchaîner certaines activités plusieurs semaines consécutives (grandes visites sur un A350 par exemple) puis de passer à une activité très différente en attendant un nouvel avion à traiter. Aussi, au démarrage du test, l'ensemble des tâches



éligibles n'est pas toujours accessible. La liste des tâches n'est pas exhaustive, et il est demandé aux volontaires de contribuer sur l'ensemble de la période de tests à l'identification de nouvelles tâches.

Étape 4: La sélection d'un exosquelette dans le parc de tests

Le parc interne d'exosquelettes en tests à Air France obéit à un cahier des charges rigoureux:

- poids inférieur à 2 kg (pour limiter la charge physique additionnelle);

↑ FIGURE 2
Logigramme
décisionnel basé
sur la norme NF
X35-800 (Éligibilité
-> Tests
-> Commande
-> Intégration
-> Suivi).

- mise en place et retrait en moins d'une minute (facteur clé d'acceptabilité pour l'opérateur en situation de travail réelle).

Dans le secteur aéronautique, des contraintes de sécurité spécifiques s'ajoutent à ces critères. Les fournisseurs doivent impérativement s'adapter aux exigences de sécurité des vols :

- compatibilité avec les zones Atex (atmosphères explosives), excluant de fait certains systèmes actifs non certifiés ;
- conformité Anti-FOD (*Foreign Object Debris*) : les dispositifs sont analysés pour garantir qu'aucune pièce, vis ou boucle ne puisse se détacher accidentellement.

Les acteurs du déploiement : rôles et responsabilités

Pour que le processus fonctionne harmonieusement, chaque membre de l'équipe pluridisciplinaire doit jouer sa partition selon un calendrier et des responsabilités bien définies.

L'ergonome : le garant méthodologique

L'ergonome anime les réunions inter-métiers, assure la veille technologique auprès des fabricants et participe activement aux instances locales (copil : comité de pilotage, codir : comité de direction, CSSCT). Il est responsable du recueil des données d'évaluation et de la participation de l'entreprise aux travaux de normalisation, notamment au sein de la plate-forme d'échange Afnor.

Le préventeur : l'opérationnel de terrain

Le préventeur assimile les procédures de test et identifie les situations de travail éligibles. Il assure le lien avec les services de santé, participe au recrutement des futurs testeurs, veille à la logistique des équipements de test (notamment la disponibilité des produits consommables et désinfectants) et participe à la restitution des résultats.

La médecine du travail : le garant médical

Le médecin du travail évalue l'état de santé des opérateurs au regard des contraintes de l'équipement. Chez Air France, la visite médicale préalable est obligatoire avant toute utilisation d'un modèle actif (comme le dispositif Japet.W+ pour le maintien lombaire) et fortement conseillée pour les modèles passifs afin d'écarter toute contre-indication médicale. Le service de prévention et de santé au travail autonome (SPSTA) participe activement au suivi en situation réelle de travail.

Le manager de proximité :

le facilitateur du quotidien

Le manager recrute les opérateurs volontaires en collaboration avec le préventeur, informe les équipes du démarrage des campagnes de test et prend en charge l'organisation logistique du stockage des équipements (utilisation d'armoires sécurisées de type Tracka ou Electroclass).

L'utilisateur volontaire : l'ambassadeur du projet

L'opérateur s'engage volontairement dans la démarche. Il participe activement aux sessions de formation dispensées par les fabricants, utilise l'équipement conformément aux consignes, renseigne son carnet de bord quotidien et partage son retour d'expérience avec ses pairs.

Acte III (2024) : focus sur l'acceptabilité sociale et le collectif de travail

L'année 2024 marque une étape décisive pour le programme d'Air France. C'est à cette période que les équipes prennent pleinement conscience d'une dimension souvent sous-estimée dans les projets de prévention technique : l'impact de l'exosquelette sur le collectif de travail et les dynamiques de groupe.

Briser « l'effet Robocop »

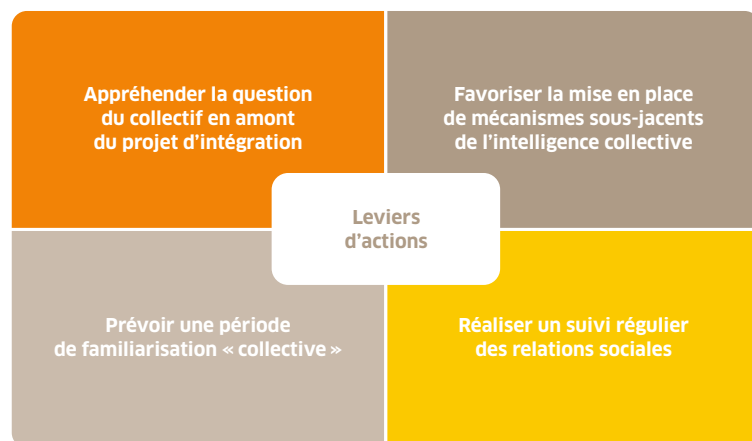
par la stratégie du binôme

Lors des premières phases d'intégration dans les ateliers de maintenance, plusieurs mécaniciens volontaires ont été confrontés aux regards interrogateurs, voire aux moqueries de leurs collègues non-utilisateurs. Des remarques telles que : « *Alors Robocop, t'es trop faible pour porter ça tout seul ?* » ou : « *C'est pour les anciens ton truc* » ont mis en évidence un risque de stigmatisation lié à la représentation de la force physique dans ces métiers de tradition industrielle.

Pour contrer ce phénomène d'exclusion ou de contrôle social négatif, les ergonomes préconisent :

- d'acheter les exosquelettes par paire : l'achat doit se faire *a minima* par paire (deux dispositifs), l'idéal pour une intégration réussie étant l'acquisition d'un lot de quatre équipements ;
- de favoriser le port simultané en binôme : équiper

↓ FIGURE 3
Schéma conceptuel des impacts sur le collectif de travail, d'après l'étude interne et les travaux de l'INRS (influence sociale, intelligence collective positive, maintien de la coordination).³



deux agents travaillant dans la même zone permet de normaliser le port du dispositif, de diluer l'attention du reste de l'atelier et de créer un micro-collectif d'utilisateurs qui s'entraident pour les réglages.

L'étude INRS (2024) :

un éclairage scientifique sur le groupe

Entre mars et juillet 2024, Air France collabore avec l'INRS pour évaluer l'impact de l'introduction de ces technologies sur le collectif de travail de non-utilisateurs dans deux secteurs d'intégration distincts. L'étude, menée *via* des questionnaires et des entretiens de sous-groupes, a révélé des mécanismes psychosociaux précieux pour les préventeurs :

- stabilité des relations sociales: l'introduction des exosquelettes n'altère pas les phénomènes d'appartenance à l'équipe, ni la coordination dans la réalisation des tâches quotidiennes;
- effet positif de l'intelligence collective: les échanges informels au sein de l'atelier permettent aux non-utilisateurs de s'informer de manière constructive. Même occasionnels, ces dialogues de terrain génèrent une opinion globalement positive de la technologie au sein de la communauté de travail;
- soutien de l'encadrement: des réunions de cadrage spécifiques ont permis d'outiller les managers de proximité afin qu'ils réagissent immédiatement face à d'éventuelles moqueries, réaffirmant le port de l'exosquelette comme une démarche de préservation de la santé encouragée par l'entreprise.

Acte IV (2025-2026) : évolution du projet exosquelette vers un programme exosquelette

L'année 2025 consacre le passage du statut de « projet d'expérimentation » à celui de « programme structuré d'entreprise ». Les tests se généralisent et quatre grands secteurs de la direction industrielle (moteurs, équipements, entretien avion, *supply chain*) finalisent ou sont en cours d'intégration pérenne d'exosquelettes.

La pérennisation budgétaire et logistique

Acheter un exosquelette implique d'anticiper son cycle de vie. Le guide d'Air France impose désormais d'intégrer dès la phase de test, en prévision d'un résultat positif :

- un contrat de maintenance annuel systématique auprès des fabricants ou des distributeurs référencés (Japet, Équilibre Ergonomie, Ergosanté);
- un budget annuel dédié d'achat d'exosquelettes et de fonctionnement dédié aux consommables d'hygiène (housses de protection textiles lavables, bombes désinfectantes, pièces d'usure);
- une organisation logistique claire concernant les

ENCADRÉ

LES CINQ PILIERS DE L'INTÉGRATION DES TECHNOLOGIES D'ASSISTANCE PHYSIQUE (TAP)

1. Privilégier l'étude de solutions de prévention collective

L'exosquelette est une mesure de protection individuelle de dernier recours. Il ne doit jamais se substituer à l'aménagement ergonomique du poste de travail ou à l'organisation des flux.

2. Co-construire avec une équipe pluridisciplinaire

Associer dès la phase de l'étude d'opportunité l'ergonome, le médecin du travail, le préventeur local, le manager de proximité et l'opérateur final. L'absence de l'un de ces acteurs compromet l'adoption.

3. Fixer des verrous de sécurité industrielle

L'outil de prévention ne doit pas créer de nouveaux risques. Les analyses de compatibilité Atex et d'absence de perte de pièces (risques FOD en aéronautique) sont des préalables non négociables.

4. Soigner l'accès et la logistique de proximité

Un dispositif qui pèse plus de 2,5 kg ou qui nécessite plus de deux minutes pour sa mise en œuvre sera rapidement abandonné. Prévoir des armoires de stockage dédiées et proches de l'activité.

5. Anticiper l'acceptabilité sociale et collective

Ne jamais déployer un dispositif sur un opérateur isolé. Commander par lots de deux à quatre équipements. Favoriser l'usage en binômes et former la ligne managériale à soutenir la démarche pour éviter la stigmatisation dans les ateliers.

lieux de stockage, l'identification des armoires dédiées et la nomination d'un référent de site chargé du suivi opérationnel et des visites de terrain (au minimum toutes les deux semaines).

L'institutionnalisation de la fonction

Preuve de cet ancrage durable, Air France rejoint officiellement la plateforme d'échange Exosquelette de l'Afnor en 2025, permettant de partager ses bonnes pratiques et de lever les incertitudes normatives subsistant au niveau national.

À la fin de l'année 2025, la structuration s'achève par la nomination d'une ressource dédiée à plein temps sur la plus grande direction de l'acti-





© Kim Rasmussen / Air France / 2025

tivité industrielle, assurant ainsi l'animation des équipes, la pérennité du savoir-faire acquis et le suivi des indicateurs de santé au travail.

Synthèse et recommandations pour le préventeur

Le retour d'expérience d'Air France sur cinq ans peut se résumer en cinq grands principes d'action (Cf. Encadré).

Conclusion

L'aventure de l'intégration des exosquelettes chez Air France entre 2021 et 2026 démontre que le succès de ces technologies ne dépend qu'en infime partie de leur performance mécanique intrinsèque. La réussite réside dans la qualité de la démarche d'accompagnement humaine, sociale et organisationnelle.

En passant d'une logique de « tests d'outils » à un véritable « programme d'intégration structuré », la compagnie a su transformer une innovation technologique parfois perçue comme un gadget en un véritable levier de prévention des TMS, respectueux des collectifs de travail et parfaitement intégré dans ses exigences de sécurité industrielle. Une trajectoire inspirante qui rap-

pelle que la technique doit toujours demeurer au service de l'humain et de sa santé au travail. ●

1. La performance productive perçue correspond à la propre évaluation qu'a l'opérateur de sa capacité à travailler de manière efficace, rapide et quantitative lorsqu'il utilise un exosquelette.
2. La direction industrielle d'Air France assure les opérations de maintenance des avions de la compagnie ainsi que celles de compagnies clientes. Réalisées en hangar, sur piste ou dans des ateliers spécialisés, ces activités mobilisent plusieurs milliers de salariés sur des interventions très diversifiées, allant de la maintenance des moteurs et trains d'atterrissage aux équipements de cabine. La variété des configurations de travail et des accès aux équipements expose les mécaniciens à des contraintes physiques importantes, notamment des postures bras en l'air, des torsions du tronc et des maintiens prolongés dans des espaces restreints.
3. Cf. dans la rubrique « Pour en savoir plus » l'article de Liën Wioland et al. et le mémoire de Flora Biraud.

POUR EN SAVOIR +

- ACCORD AC Z68-800 – Dispositifs d'assistance physique à contention de type exosquelettes robotisés ou non – Outils et repères méthodologiques pour l'évaluation de l'interaction humain-dispositif. Afnor, mars 2017. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).
- NORME NF X35-800 – Ergonomie - Méthode d'intégration des dispositifs et robots d'assistance physique à contention de type exosquelette - Expression des besoins, sélection, conception, évaluation et déploiement. Afnor, 2023. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).
- INRS – Acquisition et intégration d'un exosquelette en entreprise : guide pour les préventeurs. 2022, coll. Démarche de prévention, ED 6315. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>
- MICHAUX C., SEMOUN O. – Intégration d'exosquelettes chez les bagagistes à l'aéroport CDG. Rapport d'étude conjoint Cramif / ACMS, 2024.
- IMBERT L. ET AL. – New active exoskeleton reduces muscle activity and metabolic cost during repetitive lifting tasks. Laboratoire interuniversitaire de biologie de la motricité / RB3D, 2023.
- ROQUELAURE Y. – Les troubles musculo-squelettiques en Europe : un défi pour la prévention. Rapport d'étude européen, 2018.
- BIRAUD F. – Les dynamiques collectives lors de l'intégration des exosquelettes en entreprise. Mémoire de Master 2 de Psychologie sociale, du travail et des organisations, 2024, Université de Lorraine. Non publié.
- WIOLAND L. ET AL. – Dynamique d'adoption des exosquelettes professionnels : actions en termes de prévention. *Références en santé au travail*, 2024, TF 322, pp. 55-67. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TF%20322>

DIX ANS D'EXPÉRIMENTATIONS D'EXOSQUELETES AU TRAVAIL

Enseignements pour la prévention des risques et le maintien dans l'emploi

Depuis la fin des années 2010, les exosquelettes font l'objet d'expérimentations au sein de La Poste. Initialement mobilisés dans une logique de prévention primaire, ces dispositifs d'assistance physique ont progressivement été sollicités dans des situations de maintien ou de retour dans l'emploi pour des salariés présentant des troubles musculosquelettiques (TMS). Par son approche monographique et systémique, cet article croise observations de terrain, analyses et recommandations pour refléter la dynamique et la transversalité de la santé au travail. À partir de retours d'expérience conduits sur plusieurs sites postaux, il propose une analyse approfondie des conditions d'introduction des exosquelettes, des différences méthodologiques entre prévention collective et approche individuelle, ainsi que des enjeux organisationnels, sociaux, médicaux et juridiques qui en découlent.

BÉATRICE GOURMAUD, MÉLANIE BROUT
Direction technique, groupe La Poste

CLARISSE MATHIEU
Politique handicap, groupe La Poste

ANTOINE DEZALAY
Agefiph*, direction innovation, évaluation, stratégie

* Association de gestion du fonds pour l'insertion professionnelle des personnes handicapées.

Contexte et genèse des expérimentations : de la prévention primaire au maintien dans l'emploi

Les activités de manutention, de tri et de préparation du courrier et des colis exposent durablement les opérateurs à des contraintes biomécaniques importantes, en particulier au niveau du rachis lombaire, des épaules et des membres supérieurs. Ces contraintes résultent de la combinaison de plusieurs facteurs : répétitivité des gestes, charges manipulées, postures contraignantes, exigences de cadence et variabilité des flux.

Malgré les aménagements des postes de travail à leur conception, le contexte d'allongement des carrières professionnelles et de vieillissement de la population active pose la question de l'usure professionnelle et de la soutenabilité du travail sur le long terme pour ces populations exposées. Ces problématiques interrogent également la capacité des organisations à maintenir en emploi des salariés dont l'état de santé est altéré, sans dégrader ni leur santé ni la qualité du travail produit.

Dans ce contexte, les exosquelettes ont progressivement été testés à La Poste pour tenter de réduire certaines contraintes biomécaniques et,

potentiellement, contribuer à la prévention de l'usure professionnelle. Leur usage pour la compensation du handicap est de plus en plus un enjeu pour maintenir les salariés au travail.

Près de 10 ans d'expérimentation en prévention : une démarche progressive

À La Poste, les premières expérimentations d'exosquelettes ont été engagées dès la fin des années 2010 dans une logique de prévention primaire. L'objectif initial était de savoir, dans des situations de travail variées (tri industriel, manutention de colis, préparation de tournées), si ces dispositifs pouvaient constituer un complément aux aménagements existants, sans se substituer aux principes de prévention classiques, des TMS notamment.

L'objectif premier était de proposer à des agents volontaires un outil susceptible de réduire certaines contraintes biomécaniques, notamment au niveau du dos et des membres supérieurs, tout en préservant la mobilité et l'autonomie nécessaires aux postes de travail dynamiques. Afin d'outiller et de professionnaliser cette démarche, La Poste s'est entourée d'ergonomes expérimentés – issus



de la direction technique ou déployés en appui opérationnel – et a participé activement aux travaux de normalisation portés par l'Afnor avec l'appui de l'INRS, notamment autour de la norme NF X 35-800 d'août 2023, dédiée à l'intégration des exosquelettes en milieu de travail.

Une gouvernance pluridisciplinaire et un pilotage par étapes

Pour garantir la qualité des expérimentations, chaque projet repose sur une gouvernance rassemblant des représentants de la prévention, du management, des partenaires sociaux, du service médical et du terrain. Cette pluridisciplinarité a permis d'évaluer la faisabilité technique, organisationnelle et médicale avant toute mise en situation réelle. La démarche s'est organisée en trois grandes étapes :

- la première phase consiste à analyser précisément les situations de travail concernées. Les ergonomes observent les gestes, postures, circulations, rythmes, équipements existants et contraintes collectives afin d'identifier les leviers de transformation possibles. L'exosquelette n'est envisagé qu'après la mise en œuvre des autres solutions d'aménagement, afin qu'il ne devienne jamais une réponse par défaut. Cette exigence permet d'éviter la focalisation sur l'outil et d'inscrire sa possible utilisation dans une logique véritablement préventive, fondée sur une évaluation équilibrée des bénéfices et des risques ;
- lors de la deuxième étape, les agents testeurs participent à un temps d'acculturation. Avant toute utilisation en poste, ce temps est destiné à « démythifier l'exosquelette », souvent associé à des représentations éloignées de la réalité (robotisation, handicap visible, etc.). Une démonstration neutre du fonctionnement, de ses effets et de ses contre-indications est systématiquement réalisée. Les essais sont ensuite organisés en salle, dans un environnement contrôlé, puis en situation réelle à travers une progression en quatre sessions de trente minutes à deux heures. Ce passage progressif est essentiel pour permettre à l'agent d'appréhender les réglages, de ressentir les effets du dispositif et d'identifier ses limites. Un retour en comité de pilotage permet ensuite de déterminer si l'exosquelette doit poursuivre sa phase d'intégration ;
- en troisième étape, une période d'intégration d'au moins trois semaines est menée, lorsque le dispositif semble pertinent. Les ergonomes accompagnent les premières journées afin d'ajuster les réglages, d'observer les nouvelles contraintes éventuelles et de garantir une appropriation sécurisée du matériel. Cette étape est décisive : elle permet de vérifier l'adéquation entre l'outil, l'agent et la réalité des tâches. Le suivi est multiple – ergonomique, managérial et médical – et vise à s'assurer que le

dispositif reste bénéfique, qu'il ne génère pas de nouvelles contraintes et qu'il est compatible avec l'organisation du travail.

Les enseignements issus de la prévention : ce que révèle les expérimentations

Les expérimentations montrent :

- l'importance déterminante du choix des modèles d'exosquelette et de leurs réglages individuels, véritable clé d'acceptabilité et de confort. Les conséquences sont visibles sur la santé des utilisateurs en positif et en négatif (les effets ne sont pas neutres) ;
- la nécessité de maintenir des compétences locales (référénts, managers, relais prévention) pour assurer durabilité et cohérence des usages ;
- la sensibilité du collectif de travail, dont l'adhésion dépend d'une communication claire : expliquer ce qu'est et ce que n'est pas un exosquelette demeure indispensable pour éviter les stéréotypes ;
- l'importance du suivi : le rangement et l'entretien sont souvent oubliés. Le suivi avec les référents internes (référént technique, référént prévention, utilisateurs ambassadeurs au sein de l'entreprise) et externes (fabricant, fournisseur, expert, ergonome hors entreprise) au projet ne doit pas rester implicite.

L'émergence du maintien dans l'emploi comme nouveau champ d'application

Après plusieurs années d'expérimentations centrées sur la prévention primaire, La Poste a progressivement élargi son approche et intégré l'usage des exosquelettes dans les situations de maintien et de retour dans l'emploi. Par exemple, les difficultés rencontrées pour la mise en œuvre de la rotation de postes pour les manutentionnaires montrent le risque d'exclusion des personnes à inaptitudes médicales et la concentration des contraintes sur les agents encore aptes.

Cette ouverture vers l'exosquelette s'est opérée sans jamais rompre avec l'approche préventive initiale : l'exosquelette n'est venu qu'en complément d'autres aménagements organisationnels, techniques ou humains, et jamais comme une réponse isolée.

Afin de consolider cette orientation vers le maintien dans l'emploi, La Poste a engagé un partenariat avec l'Agefiph autour de trois objectifs :

- établir un process collaboratif (Agefiph – Cap Emploi) pour traiter les demandes de prise en charge d'exosquelette en toute connaissance de cause ;
- acculturer les représentants de l'Agefiph et de Cap Emploi (réseau Chéops¹) sur ce sujet ;
- avancer sur un cadrage juridique des responsabilités liées au port de l'exosquelette (identification et impact des responsabilités).

Plusieurs sites ont constitué des terrains d'analyse pour comprendre l'usage de l'exosquelette en maintien dans l'emploi.

À la plate-forme de préparation et de distribution du courrier (PPDC) de Cannes, l'exosquelette a été porté pendant plus de deux ans par une factrice souffrant de troubles du rachis. Le vieillissement du matériel, l'évolution de la santé de l'agente, les transformations organisationnelles et la divergence des avis médicaux ont mis en évidence la nécessité d'un suivi médical régulier, l'importance d'un accompagnement ergonomique dans le temps et le besoin de réfléchir à l'usure du matériel et au maintien de la dynamique en continu, en tenant compte des changements organisationnels.

À la PPDC de Vichy-Cusset, l'exosquelette, préconisé pour un facteur éloigné de l'emploi, a été introduit sans l'étape de sensibilisation préalable du collectif, générant une stigmatisation sociale persistante. Ce cas a montré que, pour être une solution de maintien pertinente, l'introduction d'un exosquelette doit impérativement être précédée d'un diagnostic partagé et que l'acculturation du collectif est particulièrement importante quand le collaborateur est seul à porter l'exosquelette qui rend visible une fragilité auparavant discrète.

Il a aussi montré que certains agents peuvent développer une dépendance symbolique à l'exosquelette, en construisant leur identité au travail autour de son usage.

La plate-forme industrielle courrier (PIC) de Mauguio a volontairement mêlé des agents en prévention et des agents en maintien, révélant que la mixité réduit la stigmatisation liée au handicap. Par ailleurs, la limitation du temps de port à deux heures est entrée en contradiction avec les vacations de trois heures. La limitation du poids de l'exosquelette à 2 kg et la possibilité de l'activer ou de le désactiver ont permis de lever cette restriction et d'accepter un port jusqu'à trois heures par jour.

L'expérience de terrain et le partenariat avec l'Agefiph ont conduit La Poste à adapter sa procédure, initialement pensée pour la prévention: la proposition de port d'exosquelette doit être discutée en commission pluridisciplinaire et le suivi médical du postier qui le porte doit être renforcé: le médecin du travail doit non seulement vérifier l'absence de contre-indication, mais aussi s'assurer que l'usage reste compatible avec la pathologie et son évolution. Le suivi médical est d'autant plus important dans le cadre du maintien que le port d'un exo-



Deux testeurs volontaires sur une plateforme industrielle courrier (PIC): (à gauche) agente équipée d'un exosquelette d'assistance des membres supérieurs; (à droite) agent équipé d'un exosquelette d'assistance dorso-lombaire.

squelette soulage certains mouvements, tout en reportant la charge sur d'autres. Des visites médicales régulières et une grille d'entretien remplie par le médecin du travail permettent de cadrer le suivi de l'utilisateur.

Deux logiques méthodologiques distinctes : prévention collective et approche individuelle dans le cadre du maintien dans l'emploi

Les retours d'expérience issus des expérimentations menées à Cannes, Vichy-Cusset et Mauguio montrent que l'introduction d'un exosquelette ne produit pas les mêmes effets selon qu'elle s'inscrit dans une démarche de prévention primaire ou dans une situation de maintien dans l'emploi. Si, dans les deux cas, l'exosquelette modifie les gestes professionnels, les contraintes biomécaniques et certaines dimensions de l'organisation du travail, les dynamiques sociales, médicales, symboliques, organisationnelles et financières qui l'entourent diffèrent.

Une dynamique collective différente : le groupe en prévention, l'individu en maintien

En prévention, les expérimentations montrent qu'on équipe généralement un petit groupe de volontaires : deux ou trois personnes au sein du même collectif. Cette configuration crée spontanément un esprit d'entraide : les testeurs se portent assistance pour les réglages, partagent leurs impressions, comparent les modèles testés et développent une culture commune autour du dispositif. Cette dynamique facilite l'intégration du matériel, l'ajustement mutuel des réglages et la banalisation du dispositif.

À l'inverse, dans les situations de maintien dans l'emploi, l'agent est seul à porter l'exosquelette.

Cette solitude modifie les enjeux : elle supprime l'effet de groupe, renforce la visibilité du dispositif et la singularité du handicap. Elle peut accentuer la différence perçue entre l'agent et le collectif de travail. La démarche nécessite alors un accompagnement social renforcé, car l'introduction d'un dispositif visible sur une personne en restriction médicale peut modifier profondément les relations professionnelles.

La relation au matériel : usage opportuniste en prévention, dépendance potentielle en maintien

En prévention, l'exosquelette est utilisé pour réduire des contraintes futures : les agents l'envoient lorsqu'il fait chaud, lorsque le poste change ou lorsqu'ils estiment qu'il ne sert plus. Le rapport au dispositif est donc pragmatique.

Dans le maintien dans l'emploi, l'exosquelette peut devenir un outil identitaire ou sécuritaire, voire un « passeport pour rester dans l'entreprise », dans un contexte où les « postes doux » disparaissent. L'exosquelette peut aussi être un matériel imposé dans le cas d'une restriction médicale, qui oblige celui ou celle à qui il a été prescrit de le porter.

Certains agents en maintien déclarent redouter qu'une mauvaise utilisation, un inconfort ou un échec du test conduise à une inaptitude. Cette pression peut conduire à minimiser les douleurs, à accepter des réglages imparfaits ou à dépasser les limites de temps prescrites.

À Vichy-Cusset, l'agent a progressivement développé une forme de dépendance symbolique au dispositif, allant jusqu'à le porter sur l'ensemble de la vacation, même lorsqu'il n'était plus activé.

Cette dépendance pose une question centrale : que se passe-t-il en cas de panne, d'usure ou d'indisponibilité du matériel ? L'exosquelette peut alors devenir un « passeport pour rester dans l'entreprise », dans un contexte de raréfaction des postes doux.

L'enjeu du regard social : neutralité relative en prévention, exposition en maintien

Les observations de terrain montrent que le regard des collègues constitue un facteur majeur. En prévention, l'exosquelette est vécu généralement comme un outil de modernisation ou d'innovation. Le collectif comprend que l'expérimentation vise à améliorer les conditions de travail, sans cibler une personne en difficulté. L'usage du dispositif n'est pas associé au handicap. Il peut cependant être source de remarques sarcastiques, venant de la curiosité ou de l'envie, qui peuvent gêner les utilisateurs.

En maintien dans l'emploi, l'exosquelette devient au contraire un marqueur visible d'une fragilité, auparavant plus discrète. Le dispositif rend explicite ce qui était jusqu'ici implicite : la res-

Agent en maintien dans l'emploi sur une plateforme de préparation et de distribution du courrier (PPDC), équipé d'un exosquelette d'assistance des membres supérieurs, au cours d'une activité de « flashage » de colis.



triction médicale, la nécessité d'un aménagement et la différence fonctionnelle. Certains agents y trouvent un soutien symbolique (« *mieux vaut être celui qui porte un exosquelette que celui qui est en restriction médicale* »), tandis que d'autres se sentent davantage stigmatisés. Les retours de Vichy-Cusset montrent que des plaisanteries, surnoms ou jugements peuvent s'installer si l'acculturation n'est pas correctement menée; l'absence de phase d'acculturation collective préalable a favorisé des formes de stigmatisation sociale (plaisanteries, remarques répétées), générant des effets psychosociaux négatifs. À l'inverse, à Cannes, l'implication du management de proximité et une communication active ont permis une intégration progressive de l'exosquelette dans le collectif, jusqu'à sa banalisation relative. À Mauguio, la mixité volontaire entre agents en prévention et agents en maintien a permis de réduire ces effets en diluant la visibilité du handicap dans un usage plus collectif du dispositif.

Le rôle et la place du médecin du travail :

conseil en prévention, acteur central en maintien

En prévention, le médecin du travail se prononce surtout sur l'absence de contre-indications. Son rôle, bien que nécessaire, s'inscrit dans une logique où les expérimentations sont volontaires, réversibles et sans enjeu direct sur la trajectoire professionnelle de l'agent.

En maintien dans l'emploi, le rôle du médecin devient plus complexe. Il doit :

- vérifier la compatibilité entre la pathologie et le modèle choisi ;
- anticiper les évolutions possibles de l'état de santé ;
- dialoguer étroitement avec l'employeur sur les réorganisations à envisager ;
- intégrer le suivi dans la durée (visites à trois semaines, trois mois, six mois, etc.) ;
- arbitrer des situations où la prescription est discutée par l'organisation.

Les divergences d'appréciation observées à Cannes entre professionnels de santé (médecin du travail, kinésithérapeute) montrent que la pertinence d'un exosquelette ne peut jamais être considérée comme acquise définitivement.

Le cadre organisationnel : adaptation possible en prévention, urgence et contraintes en maintien

En prévention, la démarche suit une logique de développement progressif : diagnostic, tests, intégration, retours d'expérience. Le collectif peut absorber plus facilement les perturbations temporaires : ralentissement de la production, temps de réglage, interventions des ergonomes.

En maintien dans l'emploi, le facteur temps est souvent contraint : il faut aller vite pour éviter l'arrêt maladie prolongé ou l'inaptitude.

Par ailleurs, la limitation du temps de port à deux heures est entrée en contradiction avec les vacations de trois heures. La limitation du poids de l'exosquelette à 2 kg et sa possibilité d'activation et de désactivation ont permis de porter la limitation du temps à trois heures par jour.

Les conditions de fiabilité et de maintenance :

enjeu important pour les deux types d'utilisation

L'usure prématurée observée à Cannes, Vichy ou Yzeure (tiges, câbles, textiles, élastiques) est problématique dans les deux démarches, mais elle devient critique dans le maintien : si l'exosquelette casse, l'agent peut être immédiatement empêché de travailler. En prévention, une panne entraîne surtout une suspension temporaire d'un test ou de l'utilisation d'un exosquelette, sans remettre en cause l'activité. Un exosquelette qui casse en maintien en emploi n'est pas seulement un incident technique : c'est un risque éthique, juridique et organisationnel.

Le cas de Cannes, avec plus de deux ans d'utilisation continue, met en lumière des enjeux spécifiques liés au temps long :

- le vieillissement du matériel : l'usage régulier du dispositif accélère son usure et sa déformation. Les pièces plus fragiles ou plus sollicitées montrent des besoins de réglages plus fréquents, voire de remplacement. Sans un contrat de garantie correct, l'exosquelette peut vite devenir hors service ;
- la fin de garantie de l'exosquelette pose la question de la responsabilité juridique en cas de blessure de l'utilisateur si le dispositif casse ;
- l'évolution de la morphologie et de l'état de santé de la collaboratrice est venue réinterroger la pertinence du choix de l'exosquelette, de son réglage et de ses temps d'utilisation ;
- des divergences d'appréciation entre professionnels de santé peuvent apparaître. Par exemple, le kinésithérapeute a interprété la diminution de la masse corporelle comme une conséquence possible de l'assistance mécanique apportée par l'exosquelette, tandis que le médecin du travail, pour sa part, a renforcé sa surveillance sans remettre en cause le dispositif.

Le vieillissement du matériel et la fin de garantie interrogent directement le lien avec les fournisseurs : prêt de matériel avant adoption, service après-vente, non-exclusivité pour rendre possible l'essai de différents types de matériel, évolution technologique du modèle...

Aspects financiers : un financement principalement porté par l'employeur en prévention, individualisé et cofinancé en maintien dans l'emploi

En prévention, le financement repose majoritairement sur l'employeur et conduit le plus souvent à privilégier des dispositifs mutualisables, au



ENCADRÉ

EXOSQUELETES : PRÉVENTION PRIMAIRE *VERSUS* MAINTIEN DANS L'EMPLOI

PRÉVENTION PRIMAIRE	MAINTIEN DANS L'EMPLOI
Démarche collective, expérimentale et volontaire	Démarche individuelle, souvent contrainte par l'urgence
Finalité préventive : réduction des contraintes et de l'usure professionnelle	Finalité compensatoire : permettre le maintien ou le retour au poste
Usage partagé au sein d'un collectif	Usage isolé, dispositif porté par un seul agent
Bonne acceptabilité sociale, faible visibilité du handicap	Acceptabilité fragile, visibilité accrue d'une restriction médicale
Rapport pragmatique à l'outil, usage réversible	Risque de dépendance fonctionnelle ou symbolique
Suivi médical ponctuel, centré sur l'absence de contre-indication	Suivi médical renforcé et inscrit dans la durée
Incident technique sans conséquence immédiate sur l'activité	Défaillance pouvant empêcher immédiatement le travail
	Enjeux juridiques, éthiques et organisationnels critiques
Financement employeur mutualisé	Cofinancement individualisé

coût contenu, intégrés dans une démarche collective d'amélioration des conditions de travail. À l'inverse, dans les situations de maintien ou de retour dans l'emploi, lorsque le salarié est reconnu travailleur handicapé, l'accès à des financements publics, notamment *via* l'Agefiph, modifie les arbitrages économiques : il devient possible d'envisager des équipements plus performants, plus individualisés et mieux adaptés à une pathologie spécifique. Cette différence de cadre financier influe directement sur le type de matériel testé, sur la durée des essais, ainsi que sur les exigences en matière de suivi, de maintenance et de sécurisation de l'investissement (Cf. Encadré).

Conclusion : des enjeux juridiques structurants à clarifier

L'introduction des exosquelettes en situation de travail, qu'elle s'inscrive dans une démarche de prévention ou de maintien dans l'emploi, sou-

lève des enjeux juridiques majeurs qui dépassent la seule question de l'assistance physique. Les retours d'expérience montrent que ces dispositifs modifient les conditions de travail, les gestes professionnels et l'organisation, et qu'ils doivent, à ce titre, être pleinement intégrés au champ de la santé et de la sécurité au travail.

Un premier enjeu concerne la qualification juridique de l'exosquelette et le cadre réglementaire applicable. Ni équipement de protection individuelle, ni dispositif médical au sens strict, l'exosquelette interroge les catégories juridiques existantes et appelle une clarification sur son statut, afin de sécuriser les pratiques des employeurs comme celles des professionnels de santé.

Un second enjeu porte sur la responsabilité de l'employeur. Les expérimentations rappellent que la mise à disposition d'un exosquelette n'atténue en rien l'obligation générale de sécurité. Même lorsque le dispositif est recommandé ou prescrit dans un contexte de maintien dans l'emploi, l'employeur est responsable devant la loi de la santé et de la sécurité des salariés dans son entreprise. Cette responsabilité est d'autant plus sensible que l'exosquelette est utilisé sur le long terme et qu'il conditionne parfois la possibilité même de travailler.

La clarification des rôles des différents acteurs constitue un troisième point de vigilance. Les retours de terrain montrent des interrogations quant à l'articulation des interventions des acteurs de la prévention et de la santé au travail et de l'encadrement, notamment en cas de défaillance du matériel, d'évolution de l'état de santé ou de divergences entre professionnels. Ces situations invitent à définir clairement, dans le respect des compétences et des obligations de chacun, les modalités d'intervention, d'échanges d'informations et de prises de décisions.

Enfin, l'usage des exosquelettes en maintien dans l'emploi pose des enjeux éthiques et organisationnels spécifiques : visibilité du handicap, risque de dépendance au dispositif, fragilisation des trajectoires professionnelles en cas d'indisponibilité du matériel. Ces dimensions, étroitement liées au droit du travail et à la prévention des risques psychosociaux, appellent une approche collective, anticipée et documentée.

En conclusion, les exosquelettes ne peuvent être envisagés comme de simples aides techniques. Leur déploiement met en évidence la nécessité de clarifier le cadre juridique, de renforcer l'articulation entre santé, droit et organisation du travail, et de construire des repères partagés pour sécuriser leur usage, en particulier lorsqu'ils deviennent un levier de maintien dans l'emploi. ●

1. Conseil national handicap et emploi des organismes de placement spécialisés.

DES EXOSQUELETES EN AGRICULTURE

La MSA expérimente depuis quatre ans l'intégration d'exosquelettes dans les vignes pour prévenir les TMS. Testés sur le terrain avec des viticulteurs, ces dispositifs montrent un intérêt ciblé mais nécessitent un accompagnement rigoureux. Ils s'inscrivent comme un outil complémentaire dans une démarche globale d'amélioration des conditions de travail, avec une capitalisation des retours d'expérience essentielle pour renforcer la prévention.

AGNÈS
RATGRAS,
VÉRONIQUE
BARBAT
CCMSA*

ÉRIC
ARGIOLAS
MSA** du
Languedoc-
Roussillon
* Caisse centrale
de mutualité
sociale agricole.
** Mutualité
sociale agricole.

Une démarche de prévention construite sur le travail réel

En 2024, les TMS représentaient 94,8 % des maladies professionnelles (MP) reconnues des salariés du régime agricole et près de 75 % de celles du régime des non-salariés agricoles (chefs d'entreprise). Depuis l'arrivée des exosquelettes dans le monde du travail, les acteurs des services de santé et sécurité au travail (SST) en agriculture de la Mutualité sociale agricole (MSA), qui fonctionnent en réseau, sont périodiquement sollicités à ce sujet. Les demandes peuvent être portées auprès de la MSA par une diversité d'acteurs : des élus¹ (représentant les adhérents dans les instances de gouvernance des MSA), des adhérents salariés, auprès des médecins du travail (MT) ou des infirmiers au travail (Idest), lors d'actions en milieu de travail ou de visites médicales, des chefs d'entreprise ou d'exploitation agricole, des acteurs du conseil en agriculture, auprès des conseillers en prévention (CP). Ces demandes concernent autant l'utilité des exosquelettes en termes de prévention primaire des troubles musculosquelettiques (TMS) que leur pertinence dans le cadre d'une situation de maintien dans l'emploi ou que l'aide au choix d'un matériel adapté au contexte professionnel. Les acteurs du conseil en agriculture et les organisations professionnelles agricoles se sont rapprochés de la MSA pour obtenir un avis éclairé sur cette innovation technologique en matière de prévention, dans la perspective d'un déploiement au sein des entreprises de leur filière. Pour tous ces acteurs, les exosquelettes peuvent être, de prime abord, perçus comme LA solution technique innovante qui résoudra les multiples TMS du monde agricole.

Un positionnement stratégique fondé sur la prévention et le travail réel

Dans ce contexte, les questionnements sur les impacts des exosquelettes sur la santé au travail ont été intégrés au plan santé sécurité au tra-

vail (PSST) en agriculture 2021-2025, au même titre que ceux concernant d'autres technologies émergentes (numérisation, robotique, drones). L'ambition n'était ni de promouvoir ni de rejeter ces innovations, mais de comprendre les effets de ces dispositifs sur le travail, la santé et la sécurité (des opérateurs, des équipes, des entreprises), tout en développant une capacité collective à accompagner leur introduction en s'appuyant sur une analyse rigoureuse du travail réel.

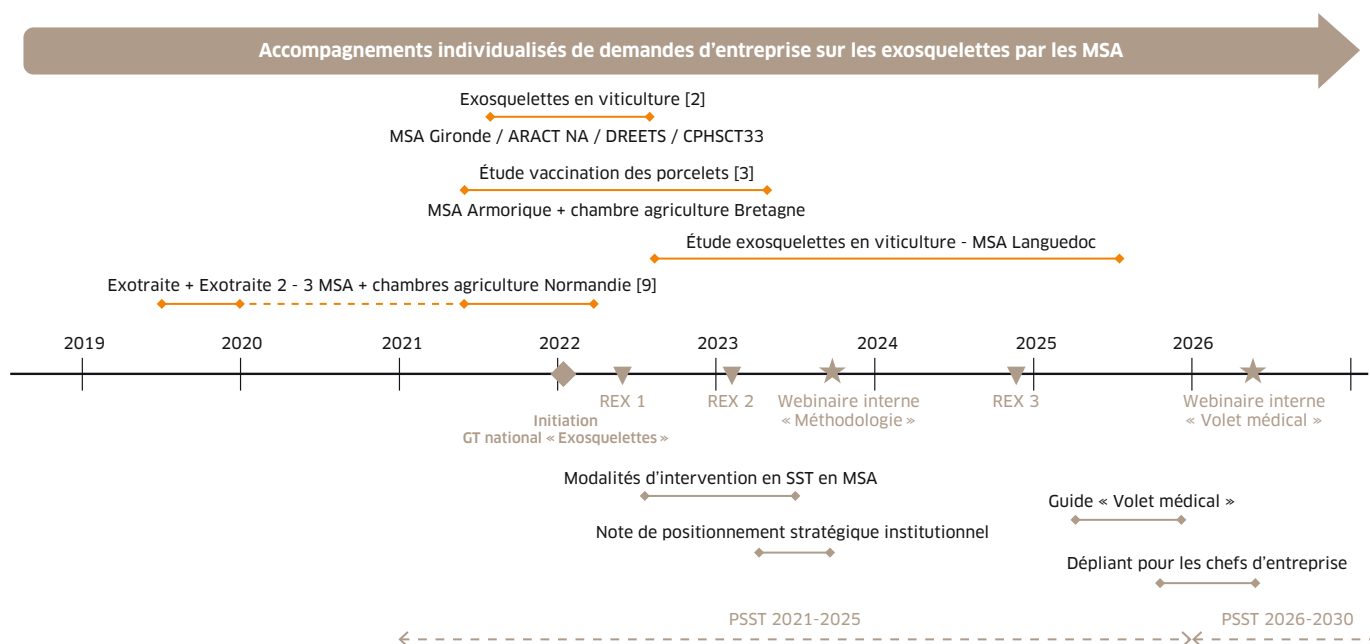
Afin de répondre à cette ambition, la MSA a engagé une stratégie d'accompagnement à la mise en place d'exosquelettes, articulant actions de terrain, menées par les préventeurs (MT, IDEST, CP) des services SST des caisses de MSA, et pilotage national assuré par la Direction nationale de la santé sécurité au travail (DNSST) de la MSA (CCMSA) [Cf. Figure 1].

Préventeurs des MSA : produire des connaissances ancrées dans les situations de travail

L'une des spécificités de la démarche portée par la MSA réside dans son ancrage opérationnel, tenant compte de la singularité des situations de travail. L'accompagnement individualisé d'exploitations agricoles pour l'intégration d'exosquelettes au travail s'appuie sur la relation de service personnalisée à destination de ses adhérents que la MSA porte depuis de nombreuses années. Cette démarche repose sur une approche globale et systémique de la situation de travail. Ainsi l'accompagnement prend en compte les spécificités de l'environnement de travail, du geste professionnel, les contraintes organisationnelles et les marges de manœuvre existantes au sein de chaque exploitation. Il s'appuie également sur une démarche pluridisciplinaire et participative, incluant les décideurs de l'exploitation et les futurs utilisateurs d'exosquelettes.

Par ces accompagnements individualisés, les équipes cherchent à caractériser les effets des





↑ **FIGURE 1**
Stratégie collective en MSA d'accompagnement des demandes d'entreprise sur les exosquelettes.

exosquelettes sur la santé dans un environnement de travail réel, à identifier des freins et leviers à leur utilisation en situation de travail en contexte agricole. Les préventeurs constatent que la prise de recul sur le contexte, les besoins réels et la mise en perspective de l'investissement amènent le plus souvent les acteurs de l'exploitation à réorienter cet investissement vers des pistes d'améliorations mieux adaptées que l'exosquelette en matière de prévention des risques professionnels ou de réaménagement des lieux de travail. Dans quelques cas, en fonction du contexte, la démarche confirme la pertinence de cet équipement pour la situation de travail, en complément d'autres actions de prévention.

En parallèle, sur la période 2021-2025, dans une perspective longitudinale et une visée collective, les préventeurs des MSA ont intégré ou développé des études à l'échelle de filières agricoles territoriales – élevage bovin lait (Cf. Encadré p. 51), viticulture [2], élevage porcin [3], paysage, apiculture, conditionnement... – en partenariat avec des acteurs locaux (chambres d'agriculture, organisations professionnelles, instituts techniques...). Ces études, telles que celle présentée au paragraphe « Étude d'acceptabilité d'exosquelettes passifs en viticulture » (Cf. p. 49), ont permis de suivre sur plusieurs semaines, voire années, des utilisateurs d'exosquelettes au travail. Elles ont mis en visibilité la variabilité et la diversité des environnements de travail, des conditions de réalisation du travail, des situations de travail, des stratégies opératoires dans l'utilisation professionnelle des exosquelettes au sein d'une même filière. Ces résultats confirment la nécessité d'une approche ancrée dans les situations de travail et d'une réponse au cas par

cas aux demandes d'intégration d'exosquelettes. Certaines de ces expérimentations ont donné lieu à des publications scientifiques ou à des communications professionnelles, contribuant à nourrir un socle de connaissances partagé.

Enfin, un autre axe de travail des préventeurs des MSA sur la période a concerné l'animation de collectifs d'exploitants s'interrogeant en amont de l'acquisition d'exosquelettes. Lors de ces groupes de réflexion, les préventeurs ont cherché à déplacer les débats, en invitant les chefs d'exploitation à s'interroger non seulement sur la performance technique des exosquelettes, mais aussi sur leurs besoins en matière de prévention, à se projeter sur les futurs impacts organisationnels, sur les éventuelles contraintes sur les différentes tâches à effectuer, les questions de compatibilité avec les équipes, les aléas du travail agricole. Cette démarche favorise une appropriation critique d'un nouvel équipement en tenant compte des enjeux de prévention et de santé, toujours en se centrant sur les situations de travail.

La CCMSA : structurer, capitaliser et outiller au niveau national

À l'échelle nationale, la DNSST de la CCMSA a joué un rôle de structuration et de capitalisation. Un groupe de travail dédié aux exosquelettes a été constitué en 2022, avec pour missions la veille scientifique, le partage des retours d'expérience issus des accompagnements et études menés en MSA et la montée en compétence collective. Il se compose de conseillers nationaux en prévention, d'un médecin du travail conseiller technique national, d'une chargée de mission sur les TMS et d'une ergonome de l'une des MSA.

Ce groupe de travail national a organisé trois séminaires entre 2022 et 2024. Ces événements ont regroupé une trentaine de préventeurs des différents métiers (CP, MT, IDEST) issus d'une quinzaine de MSA : l'occasion de présenter les études en cours et des retours d'expérience d'accompagnements individualisés, suivis d'ateliers de réflexion collective. Ces temps collectifs offrent également un espace aux participants pour confronter leurs difficultés, leurs réussites, y échanger connaissances, outils, révéler des points de convergence ou des spécificités locales. Ces acteurs y mettent en discussion des questions encore ouvertes et à approfondir, telles que la durée des tests *in situ* (sur le terrain), les modalités d'accompagnement financier, les apports respectifs des acteurs de la santé au travail et de la prévention ou l'articulation de leur coopération autour des demandes d'exosquelettes. En s'interrogeant sur leurs pratiques, ils font émerger des repères méthodologiques et des messages clés partagés.

Sur la base de ces travaux collectifs, la DNSST de la CCMSA a produit une méthodologie d'intervention commune, destinée à harmoniser les pratiques. Celle-ci propose des éléments de cadrage en formalisant les étapes clés de la démarche, clarifiant l'implication et les attendus des parties prenantes (exploitant, utilisateur final, médecins et infirmiers du travail, conseillers en prévention, partenaires).

Par ailleurs, la DNSST a élaboré un positionnement stratégique institutionnel sur les exosquelettes qui reprend les messages clés. Il est destiné aux équipes SST, pour leur permettre de répondre aux demandes des élus, des exploitants, des médias... Dans la continuité de ces travaux, un guide à usage interne consacré au volet médical a été coconstruit, afin d'appuyer le positionnement et les pratiques des médecins du travail et infirmiers en santé au travail, en l'absence, à ce stade, de recommandations médicales de sociétés savantes françaises.

Une articulation MSA-CCMSA au service des TPE agricoles

L'originalité de la démarche de la MSA tient à l'articulation étroite entre les préventeurs des services SST des MSA et de la DNSST de la CCMSA. Les premiers produisent des connaissances situées, issues du terrain et du travail réel ; les seconds en assurent la mise en cohérence, la formalisation et la diffusion. Cette dynamique évite à la fois l'écueil d'une standardisation déconnectée des réalités locales et celui d'un empilement d'expériences isolées.

Cette articulation permet de développer une méthodologie adaptée aux exploitations agricoles, majoritairement des TPE dépourvues de

ressources internes en prévention. L'approche privilégie l'accompagnement à la décision, la progressivité et l'analyse des besoins et des usages, plutôt que la recherche de solutions « clés en main ».

Enfin, les travaux engagés sur les exosquelettes constituent un véritable laboratoire méthodologique. Les enseignements tirés alimentent désormais une réflexion plus large sur l'accompagnement des autres technologies émergentes en agriculture (robotique, intelligence artificielle, drones), confirmant l'intérêt d'une prévention construite à partir du travail réel et portée par un réseau structuré de préventeurs (Cf. Figure 2).

Étude d'acceptabilité d'exosquelettes passifs en viticulture

Dans un contexte de développement rapide des exosquelettes passifs, souvent présentés comme des solutions de réduction de la pénibilité, le service SST de la MSA du Languedoc a conduit une étude longitudinale sur trois ans (2022-2025), centrée sur l'activité de taille de la vigne.

L'étude reposait sur une approche méthodologique progressive, articulée autour de trois phases d'appropriation : pré-adoption, familiarisation et routinisation. Elle a combiné questionnaires, analyses biomécaniques et mesures électromyographiques (EMG). L'analyse des résultats a montré que le geste professionnel n'était pas modifié par le port de l'exosquelette, tandis que les sollicitations internes évoluaient, posant la question des conditions d'intégration de ces dispositifs dans une démarche de prévention durable des TMS.



← FIGURE 2
« Une dynamique de réseau », extrait du poster présenté au CNMST 2026 à Lyon [1].



Un cadre et une méthodologie

La taille de la vigne constitue une activité manuelle exigeante, sur une période d'environ quatre mois, caractérisée par des postures prolongées en flexion avec sollicitation du rachis lombaire et la répétition de gestes. Alors que les exosquelettes passifs à soutien lombaire sont en plein essor, et face à des sollicitations croissantes de terrain, les auteurs recherchaient des réponses au sujet de leur efficacité et des repères pour leur démarche de prévention des TMS. Le service SST de la MSA Languedoc a engagé une étude centrée non sur la comparaison des exosquelettes, mais sur l'analyse des effets des dispositifs en situation réelle de travail.

L'étude a débuté avec 45 candidats volontaires. Après application de critères médicaux d'exclusion (pathologies lombaires avérées, pathologies cardiovasculaires ou circulatoires, obésité massive ou contre-indications au port prolongé d'un dispositif) et à l'issue des visites médicales de validation, 33 participants ont été retenus: des femmes et des hommes âgés de 18 à 65 ans, salariés et non-salariés agricoles.

Trois modèles d'exosquelettes passifs à soutien lombaire ont été sélectionnés. Le protocole reposait sur une confrontation prolongée au travail réel : chaque participant devait tester successivement les trois dispositifs durant trois périodes de trois semaines, en situation effective de taille de la vigne. Chaque période était suivie d'un questionnaire portant sur le confort, les gênes éventuelles, la perception de la pénibilité et l'acceptabilité globale.

Les premières analyses ont montré que la décision d'acceptation ou de rejet d'un modèle intervient souvent rapidement. Pour les participants exprimant une hésitation ou des ressentis contrastés, la période comprise entre cinq et dix jours d'utilisation, identifiée comme un moment clé du processus décisionnel, a fait l'objet d'une attention particulière. C'est en effet dans ce délai que les participants ont exprimé leur choix définitif.

L'introduction des exosquelettes a donc été étudiée non comme un événement ponctuel, mais comme un processus d'appropriation inscrit dans la durée, ancré dans le travail réel et conditionné par l'expérience corporelle des opérateurs.

Saison 1 (2022-2023) : la pré-adoption

« Dans quelle mesure les exosquelettes passifs sont-ils acceptables lors de leur introduction en situation réelle de travail ? » La première saison correspondait à la phase de pré-adoption, marquée par les représentations initiales et la confrontation au réel. Avant les essais, les attentes étaient élevées: 96 % des participants estimaient que l'exosquelette améliorerait leurs conditions de travail et 75 % anticipaient une utilisation simple et peu contraignante.

La confrontation au travail réel a rapidement modifié ces perceptions. En situation de taille, 57 % des participants ont déclaré ressentir de nouvelles gênes, dont 40 % jugées insupportables. Par ailleurs, 35 % ont interrompu les essais dans les cinq premiers jours, malgré un protocole prévoyant quinze jours d'utilisation.

À l'issue de cette première saison, 24 participants sur 33 ont retenu un modèle jugé compatible avec leur activité, parmi les trois exosquelettes testés, alors que 9 participants (27 %) n'en ont retenu aucun. Le choix effectué reposait à 79 % sur le confort ressenti, à 33 % sur la perception d'une réduction de la pénibilité, et à 26 % la diminution d'une douleur existante. La phase de pré-adoption a ainsi révélé un décalage entre les représentations initiales et l'expérience corporelle en situation de travail réel. Cette première étape met en évidence un enseignement essentiel: malgré un accompagnement identique, l'exosquelette ne répond pas aux attentes de tous les utilisateurs. Pour près d'un tiers des participants, les contraintes perçues ont été supérieures aux bénéfices attendus.

Les saisons suivantes ont permis d'analyser les mécanismes de familiarisation puis d'intégration dans l'activité auprès des utilisateurs ayant identifié un dispositif compatible avec leur pratique professionnelle.

Saison 2 (2023-2024) : la familiarisation

« Le port prolongé d'un exosquelette modifie-t-il le geste professionnel et les contraintes biomécaniques associées ? » La deuxième saison, correspondant à la phase de familiarisation, a concerné 20 participants poursuivant l'étude. Les opérateurs ont utilisé le modèle retenu durant toute la saison de taille de la vigne, ce qui a permis d'observer les ajustements progressifs et l'intégration partielle du dispositif dans l'activité.

Les analyses biomécaniques ont montré que le port d'un exosquelette n'entraînait pas de modification significative du geste professionnel de taille de la vigne.

Les angulations articulaires et l'organisation générale de l'activité demeuraient comparables, avec ou sans exosquelette. Dans le même temps, 93 % des participants ont rapporté un soulagement lombaire et 46 % ont déclaré percevoir un gain de productivité.

Cette phase a mis en évidence une coexistence entre la stabilité du geste observable et l'amélioration ressentie.

Saison 3 (2024-2025) : la routinisation

« Quels effets le port durable d'un exosquelette produit-il sur les sollicitations internes de l'organisme ? » La troisième saison a concerné 12 participants. Elle correspondait à une phase de routinisation, dans

laquelle l'exosquelette était intégré au quotidien de travail. Des mesures d'électromyogramme et de cardiofréquence ont été réalisées.

Elles ont montré une réelle diminution des sollicitations musculaires lombaires ainsi qu'une modification de répartition des sollicitations musculaires, avec une sollicitation accrue des muscles des cuisses, parfois asymétrique, selon les individus. Aucune modification significative de l'activité cardiaque n'a été observée.

En fin de saison, 100 % des 12 participants ont rapporté un soulagement lombaire, 75 % ont estimé que l'exosquelette réduisait la pénibilité, et 11 d'entre eux ont décidé d'en poursuivre l'utilisation. Après trois années de suivi, l'exosquelette apparaît ainsi moins comme un dispositif transformant le geste que comme un outil modifiant la répartition des contraintes physiques au sein de l'organisme.

Les enseignements de l'étude

Trois années de suivi permettent de dégager plusieurs enseignements utiles pour les professionnels souhaitant intégrer des exosquelettes dans une démarche de prévention des TMS.

- **L'exosquelette n'est pas une solution universelle**
Dès les premières semaines d'utilisation, près d'un tiers des participants n'a retenu aucun des dispositifs proposés. Un même exosquelette peut être perçu comme une aide précieuse par certains utilisateurs et comme une contrainte supplémentaire par d'autres. L'évaluation doit donc rester individualisée.
- **Quelques jours suffisent rarement pour se prononcer**
Les résultats montrent que la période comprise entre cinq et dix jours d'utilisation constitue un moment charnière dans le processus d'acceptation. Les essais très courts ne permettent pas toujours aux utilisateurs d'expérimenter pleinement les ajustements nécessaires ni de construire un avis stabilisé.
- **Le confort reste le premier critère d'acceptation**
Bien avant les considérations techniques ou les performances annoncées, c'est l'expérience corporelle qui guide les choix. Le confort ressenti apparaît comme le principal déterminant de l'adoption durable.
- **Le geste professionnel ne disparaît pas**
L'exosquelette ne transforme pas l'activité de taille. Les analyses biomécaniques montrent une grande stabilité du geste professionnel. Son intérêt réside davantage dans la modification des sollicitations internes que dans une transformation visible de l'activité.
- **L'exosquelette s'inscrit dans une démarche globale de prévention**
Ces dispositifs peuvent constituer une aide ciblée pour certains opérateurs, mais ils ne remplacent pas

les actions de prévention primaire. L'organisation du travail, les caractéristiques des parcelles, les outils utilisés et les conditions d'exécution demeurent les premiers leviers de prévention des troubles musculosquelettiques.

« Volet médical » : corédaction d'un guide à usage interne

À l'occasion notamment de journées de retour d'expérience du réseau SST, les médecins et infirmiers du travail de la MSA ont exprimé le besoin d'être accompagnés [4]. En effet, en l'absence actuelle de recommandations médicales de sociétés savantes françaises, et sachant que l'intérêt des exosquelettes « de travail » sur la prévention primaire, secondaire ou tertiaire des TMS n'est pas démontré [5], comment faire face aux sollicitations fréquentes d'entreprises ou de travailleurs ?

Dans le but d'apporter des éléments de réponse, un groupe de travail a été constitué en 2025, piloté par l'échelon national de la SST (DNSST - CCMSA), auquel une vingtaine de préventeurs des trois métiers de la santé et sécurité au travail, issus de 12 des 35 MSA, ont participé.

Ce groupe de travail « Volet médical exosquelettes » s'est inscrit dans le prolongement des travaux du réseau SST de la MSA consacrés à ces dispositifs, dans le cadre du chantier « Nouvelles technologies » du plan santé sécurité au travail (PSST) en agriculture 2021-2025.

D'emblée, le groupe a confirmé que le positionnement stratégique institutionnel et la méthodologie d'intervention commune pour l'intégration d'exosquelettes, coconstruits en amont par le réseau SST de la MSA, étaient indissociables. Il s'agissait donc, dans ce contexte prérequis, de définir au mieux le rôle que doivent/peuvent jouer les MT et Idest, en collaboration avec les CP.

Après avoir posé ce cadre, ainsi que les constats et les objectifs visés, les discussions se sont focalisées sur ce qu'il serait ou non possible d'établir en

ENCADRÉ

ÉVALUATION DE L'INTÉRÊT D'EXOSQUELETTES POUR L'AIDE À LA TRAITE EN ÉLEVAGE LAITIER

Les chambres d'agriculture de Normandie et les trois caisses MSA de Normandie ont conduit plusieurs essais pour évaluer l'impact des exosquelettes sur l'organisation du travail, le confort, la sécurité des travailleurs chargés de la traite des vaches [9]. Le protocole d'étude était basé sur le ressenti des salariés lors du port d'un exosquelette (grille de saisie quotidienne après chaque traite), sur l'observation des salariés à la traite, avec et sans exosquelette, ainsi que sur un suivi médical avant et pendant l'expérimentation.



termes de modes d'action, d'éventuelles indications, de précautions d'emploi, d'effets indésirables, de contre-indications, d'interactions et d'alternatives en milieu professionnel [6,7].

Cette réflexion a successivement porté sur les besoins puis la place de l'équipe pluridisciplinaire MT/Idest au cours des différentes étapes de la méthodologie d'intervention de la MSA, et l'analyse bibliographique [8].

Un guide évolutif à usage interne a ainsi été rédigé; il confirme la nécessité d'avoir épuisé l'ensemble des pistes de prévention collective avant d'envisager d'utiliser des exosquelettes. Il met l'accent sur:

- la nécessité d'éliminer les contre-indications, au cas par cas;
- le respect des modes d'emploi/notices techniques/manuels utilisateur des fabricants, à toutes les étapes;
- les formations pratiques, indispensables;
- les tests, suffisamment longs en situation habituelle de travail;
- les impacts, positifs ou négatifs, que l'utilisation d'exosquelettes dans un contexte professionnel génère, sur les opérateurs, les collectifs et l'organisation du travail;
- l'évaluation régulière des rapports bénéfice/risque et santé au travail à travers le suivi à court, moyen et long terme, en milieu de travail et lors de visites médicales;
- le recueil d'éventuels effets indésirables, pouvant dans certains cas imposer le retrait du dispositif.

Présentation des annexes et déploiement du guide

Les annexes du guide proposent une synthèse de plusieurs réalisations du réseau santé sécurité au travail (SST), réparties entre ressources accessibles en ligne et outils à usage interne.

Ressources et retours d'expérience terrain (accessibles en ligne):

- « Les exosquelettes, top ou flop? » – Conférence Sival 2024 (coanimée par les MSA Maine-et-Loire, Loire-Atlantique-Vendée, Berry-Touraine, Mayenne-Orne-Sarthe et la Caisse centrale);
- Acceptabilité du port d'un exosquelette passif pendant la taille de la vigne (MSA du Languedoc). Outils opérationnels pour les équipes SST (usage interne MSA):
- Conduite à tenir en cas de demande d'exosquelette (MSA Auvergne);
- Tentative d'intégration pluridisciplinaire d'un exosquelette et exemple de questionnaire utilisateur (MSA Armorique).

Valorisation et animation du réseau

Diffusé en interne sur l'espace partagé du réseau SST de la MSA, ce guide a fait l'objet d'un webinaire de présentation de façon à faciliter son appropriation, à susciter de nouveaux échanges et à envisager des perspectives de déploiement. ●

1. À la MSA, organisme de sécurité sociale agricole, les adhérents votent tous les cinq ans pour choisir leurs délégués, sur l'ensemble du territoire français.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] RATGRAS A. ET AL. – La MSA s'implique dans l'intégration des exosquelettes en entreprise, Th10-P497. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 2026, 87, 3-4, 103733. Accessible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1775878526007058>
- [2] MSA GIRONDE ET AL. – L'exosquelette en viticulture: j'y vais? j'y vais pas? Action collective. 2023. Accessible sur: <https://cphsct33.fr/introduction-des-exosquelettes-en-viticulture/>
- [3] DEPOUDENT C. ET AL. – Impact de l'utilisation d'un exosquelette « dos » sur les conditions de travail lors de la vaccination de porcelets. *Journées de la recherche porcine*, 2024, 56, pp. 361-366.
- [4] GALLET A. – Exosquelettes professionnels: rôle et besoins des services de santé au travail pour leur intégration en entreprise. Thèse de doctorat en médecine, université Claude-Bernard-Lyon 1, 2020.
- [5] THEUREL J. – Exosquelettes professionnels: bénéfices et limites pour la prévention des TMS. *Le concours médical*, 2020, 42.
- [6] INRS – 10 idées reçues sur les exosquelettes. ED 6295, 2018.
- [7] INRS – Exosquelettes au travail: points de vigilance. Infographie. 2019. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/publications/essentiels/exosquelettes.html>
- [8] STEINHILBER B. ET AL. – The use of exoskeletons in the occupational context for primary, secondary, and tertiary prevention of work-related musculoskeletal complaints. *IIE Transactions on occupational ergonomics and human factors*, juil.-sept. 2020, 8, 3, pp. 132-144.
- [9] CHAMBRES D'AGRICULTURE DE NORMANDIE – Projet Exotraite: évaluation de l'intérêt d'exosquelettes pour l'aide à la traite en élevage laitier. Accessible sur: <https://normandie.chambres-agriculture.fr/sinformer/rechercher-innover/projets-innovation-et-rd/detail-du-projet/exotraite>

POUR EN SAVOIR +

- WIOLAND L. ET AL. – Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes: évaluation par questionnaire. *Références en santé au travail*, décembre 2019, 160, TF 274.
- WIOLAND L. ET AL. – Questionnaire révisé sur l'acceptation des exosquelettes professionnels et méthode de notation. *Références en santé au travail*, , décembre 2025, 184, TM 88.
- ARGOLAS E. ET AL. – Acceptabilité du port d'un exosquelette passif pendant la taille de la vigne. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 2024, 85, 2-3. Accessible sur: <https://www.em-consulte.com/article/1664623/acceptabilite-du-port-d-un-exosquelette-passif-pen>
- RÉSEAU MSA – Les exosquelettes: top ou flop? Conférence SIVAL, 18 janvier 2024. Accessible sur: <https://ssa.msa.fr/document/les-exosquelettes-top-ou-flop/>

Symposium International Amiante

Prévention et maîtrise
du risque dans le BTP

28-29 janvier 2027



L'AMIANTE, toujours présent dans de nombreux bâtiments, infrastructures et équipements, demeure un problème majeur de santé au travail. Il est donc indispensable de continuer à prévenir les risques associés pour préserver la santé et la sécurité des travailleurs du secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP).

À l'occasion des 30 ans de l'interdiction de l'amiante en France, l'INRS et l'OPPBTP proposent un symposium international dédié à la prévention et à la maîtrise de ce risque. Il a pour objectif de partager les connaissances scientifiques les plus récentes en matière d'effets sur la santé, d'identification, de mesurage, de gestion et de protection des travailleurs exposés. Il réunira des experts nationaux

et internationaux afin de présenter l'état des connaissances toxicologiques et épidémiologiques, les politiques de gestion du risque et les mesures de prévention mises en œuvre dans différents pays, de partager des retours d'expérience et de favoriser une réflexion sur les perspectives et les besoins d'harmonisation des pratiques, pour une prévention renforcée.

Ce symposium est destiné à tous les acteurs concernés par la prévention du risque amiante : chercheurs, préventeurs, personnels des services de prévention et de santé au travail, représentants des pouvoirs publics, entreprises et organisations professionnelles, donneurs d'ordre... ●

Participation sur place ou en direct sur internet - Inscription obligatoire

📍 Comet Bourse Paris ■ 35, rue Saint-Marc ■ 75002 Paris ■ France

👤 Contact : symposium@amiante2027.fr

symposium.amiante2027.fr



OPPBTP



Études & solutions

Notes techniques

Nettoyage des locaux à l'eau ozonée
P. 55

Entrepôts de pneumatiques :
une qualité d'air dégradée
P. 64

Passage de personnes
devant une sorbonne de laboratoire :
quel impact sur son efficacité ?
P. 72

Études de cas

Accompagner les usages
des logiciels de soin en Ehpad
P. 80

Caractérisation des niveaux de concentration
et d'exposition aux agents biologiques et chimiques
dans les unités de méthanisation-compostage
P. 88

Base de données Colchic

Portrait rétrospectif des expositions
au benzène en France entre 2016 et 2025
P. 100

Notes techniques

NETTOYAGE DES LOCAUX À L'EAU OZONÉE

Évaluation des émissions et des risques associés

Adoptée dans le secteur de la propreté pour sa facilité d'emploi, pour son intérêt logistique et la promesse d'un moindre recours aux produits chimiques, l'eau ozonée fait l'objet d'un intérêt croissant. L'étude de l'INRS montre toutefois que certaines phases d'usage, notamment la pulvérisation et la dispensation avec remous, peuvent conduire à des émissions significatives d'ozone dans l'air.

**BENJAMIN
SUTTER**
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

**ANNABELLE
GUILLEUX**
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

L'utilisation de l'eau ozonée générée *in situ* connaît actuellement une diffusion dans les secteurs tertiaire, hospitalier et agroalimentaire comme alternative aux produits chimiques conventionnels, en particulier pour le nettoyage des surfaces des locaux. Les équipements de génération d'eau ozonée pour ces applications sont proposés sous forme de centrales murales ou de pulvérisateurs portatifs. Ces procédés de nettoyage sont promus par leurs concepteurs pour la simplicité de la formulation du produit de nettoyage, majoritairement à base d'eau et d'une faible concentration d'ozone, pour l'absence de résidu chimique après utilisation et pour la réduction des contraintes logistiques associées. Il en résulte une image de sécurité et de préservation de l'environnement. Par ailleurs, avec la présence d'ozone, dont les propriétés biocides sont connues de longue date, la promesse d'un effet désinfectant s'ajoute à celle d'un nettoyage plus sûr. Bien que la substitution de produits chimiques dangereux par des procédés considérés comme moins dangereux peut constituer un levier de prévention, il s'agit avant tout d'étayer la pertinence de la démarche de substitution par une démonstration objective du gain réel en prévention. Or, les équipements proposés

actuellement manquent de documentation indépendante concernant les risques professionnels liés à leur usage et les moyens de les prévenir, l'efficacité biocide réelle (lorsqu'elle est revendiquée) et les exigences techniques d'installation.

C'est précisément dans ce contexte que l'INRS a publié, en septembre 2023, un communiqué de presse appelant à la vigilance sur les opérations de nettoyage, voire de désinfection, mettant en œuvre de l'eau ozonée [1]. Ce texte a eu un écho important dans les secteurs concernés, en particulier parce qu'il est intervenu à un moment où de nombreuses structures avaient déjà acquis des équipements ou envisageaient de le faire. Il a aussi souligné le manque de données quantitatives indépendantes sur le comportement réel de ces dispositifs en conditions d'usage. L'ozone (molécule composée de trois atomes d'oxygène O₃) est un gaz extrêmement réactif et hautement toxique par inhalation. Une circulaire française définissait dès 1982 deux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) indicatives : une VLEP sur 8 heures de 100 ppb¹ et une VLEP sur 15 minutes (VLEP-court terme ou VLCT) de 200 ppb [2], qui font, depuis lors, office de références pour la prévention des risques liés à l'inhalation d'ozone par les travailleurs. La récente adoption de la classification européenne harmonisée (23^e adaptation au progrès

Note au lecteur – En septembre 2023, l'INRS mettait en garde, par communiqué de presse, contre les procédés utilisant l'eau ozonée pour des opérations de nettoyage et de désinfection [1]. Cette position a été confirmée par une étude dont les résultats sont présentés dans cet article.



RÉSUMÉ

L'eau ozonée, générée *in situ*, est proposée en remplacement des produits chimiques conventionnels dans le secteur de la propreté. L'INRS a mené une étude expérimentale pour objectiver les flux d'ozone émis dans l'air par cet usage. L'évaluation a porté sur quatre centrales murales et quatre pulvérisateurs produisant de l'eau ozonée. Ces appareils

ont été testés sur un cycle opératoire complet. L'étude montre des rejets gazeux préoccupants lors de la dispensation avec remous et de la pulvérisation. Cette dernière induit un transfert quasi total de l'ozone dissous vers l'air avant l'impact sur la surface. L'application en film mince s'avère peu émissive, toutefois une quelconque

action de l'ozone sur les agents biologiques est discutable en raison de sa décomposition immédiate au contact des matériaux. Au final, le nettoyage par étalement ou pulvérisation d'eau ozonée se réduit donc à un nettoyage à l'eau, accompagné de sources majeures d'exposition à l'ozone.

CLEANING PREMISES WITH OZONATED WATER: ASSESSMENT OF EMISSIONS AND ASSOCIATED RISKS

Ozonated water, generated on-site, may be proposed as a replacement for conventional chemicals in the cleaning sector. INRS has conducted an experimental study to objectively assess the ozone flows released into the air by this practice. The assessment covered four wall-mounted units and four sprayers producing

ozonated water. These devices were tested over a complete operating cycle. The study showed concerning gaseous emissions during agitated dispensing and when spraying, resulting in an almost complete transfer of dissolved ozone into the air before it comes into contact with the surface. Thin-film application proved to be

low in emissions; however, any effect of ozone on biological agents is questionable due to its immediate decomposition on contact with materials. Ultimately, cleaning by spreading or spraying ozonated water therefore amounts to cleaning with water, accompanied by major sources of ozone exposure.

technique du règlement CLP² [3-4]) de l'ozone formalise les connaissances scientifiques sur la dangerosité de cet agent chimique. Concernant ses dangers pour la santé, l'ozone est désormais classé par l'UE comme cancérogène suspecté (*Carc. 2*), mutagène suspecté (*Muta. 2*), toxique aigu par inhalation (*Acute Tox. 1*), toxique spécifique – exposition unique – pour le système nerveux, le système respiratoire et le système cardiovasculaire (*STOT SE 1*) et toxique spécifique – exposition répétée – pour le système nerveux et le système respiratoire (*STOT RE 1*). L'adoption de cette classification européenne harmonisée vient souligner la nécessité de limiter l'exposition des travailleurs à l'ozone.

Le principe de l'eau ozonée repose sur la dissolution d'un gaz oxydant (l'ozone) dans l'eau. Du point de vue de la physique des transferts et de la thermodynamique, l'ozone est modérément soluble dans la phase liquide. Conformément à la loi de Henry [5] et des processus de transfert de matière, tout déséquilibre thermodynamique, résultant par exemple d'une élévation de température, d'une dépression ou de la chute de la pression partielle d'ozone à l'interface gaz-liquide lors de l'exposition à l'air ambiant, force le transfert de matière vers la phase gazeuse (stripage ou dégazage). Ainsi, les actions routinières, comme le soutirage au robinet ou l'aérosolisation par

pulvérisation, constituent des facteurs de dégazage potentiellement massifs, par rupture de l'équilibre gaz – liquide.

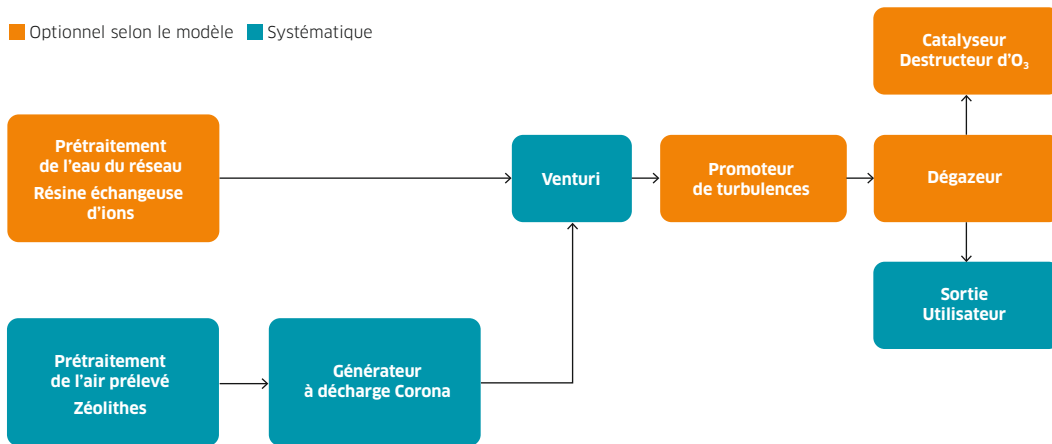
L'objectif de l'étude réalisée par l'INRS était d'analyser expérimentalement le cycle d'usage de l'eau ozonée utilisée pour le nettoyage de surfaces afin de caractériser le risque chimique induit. La démarche repose sur une méthodologie visant à quantifier les flux d'émission gazeux et la charge dissoute résiduelle, pour chaque phase opératoire (production, dispensation, stockage, utilisation par étalement ou pulvérisation).

Matériels et méthodes

Choix des équipements et logique d'étude

Les équipements ont été sélectionnés en 2023 pour couvrir les technologies de génération dominantes et les architectures matérielles variées. Le corpus comprend :

- quatre centrales murales (notées A à D), produisant de l'ozone par décharge couronne à partir d'air ambiant ;
- quatre pulvérisateurs (notés E à H), dont des systèmes électrochimiques auto-producteurs (pulvérisateurs E et F) et des pulvérisateurs mécaniques à réservoir alimentés par les centrales murales (pulvérisateurs G et H).



← FIGURE 1
Schéma fonctionnel simplifié des centrales murales de production d'eau ozonée étudiées. Les blocs bleus correspondent aux sous-ensembles systématiques ; les blocs orange à des sous-ensembles dépendants du modèle.

Parmi les centrales murales, seule la centrale B permet un réglage utilisateur de la puissance de fonctionnement. Les essais ont été réalisés pour ses trois niveaux de puissance, désignés B1, B2 et B3 dans la suite de l'article, tandis que les centrales A, C et D fonctionnent à un niveau de puissance fixe non ajustable.

L'inspection technique des centrales a permis d'établir un schéma fonctionnel commun (Cf. Figure 1) identifiant les zones critiques d'émission :

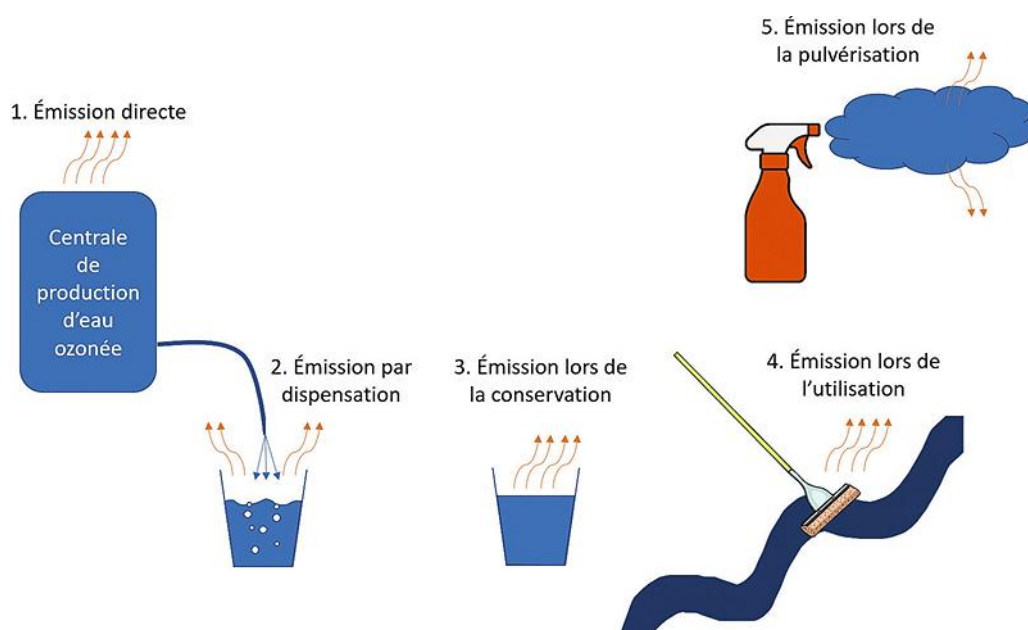
- **prétraitement de l'air et génération** : toutes les centrales intègrent un lit de zéolithes pour la dessiccation de l'air avant le passage dans le générateur à décharge couronne ;
- **dissolution** : le transfert gaz-liquide est assuré par un injecteur Venturi, parfois complété d'un mélangeur statique pour maximiser la surface d'échange entre les phases. Un transfert incomplet peut entraîner des bulles d'ozone gazeux vers la sortie utilisateur ;

- **gestion de la phase gazeuse** : les modèles équipés de séparateurs de phases (dégazeurs) orientent l'excédent gazeux (off-gas) vers un lit catalytique de destruction (centrales A, C et D). Les risques associés incluent la saturation du catalyseur par l'humidité ou la mise en défaut du dégazeur ;
- **distribution** : la sortie utilisateur représente le point de rupture de l'équilibre thermodynamique, où l'agitation mécanique et la chute de pression partielle forcent le dégazage vers l'environnement de travail. Cas particulier pour la centrale B : du fait de l'absence de dégazeur, la totalité de l'excédent gazeux est émise au point de soutirage.

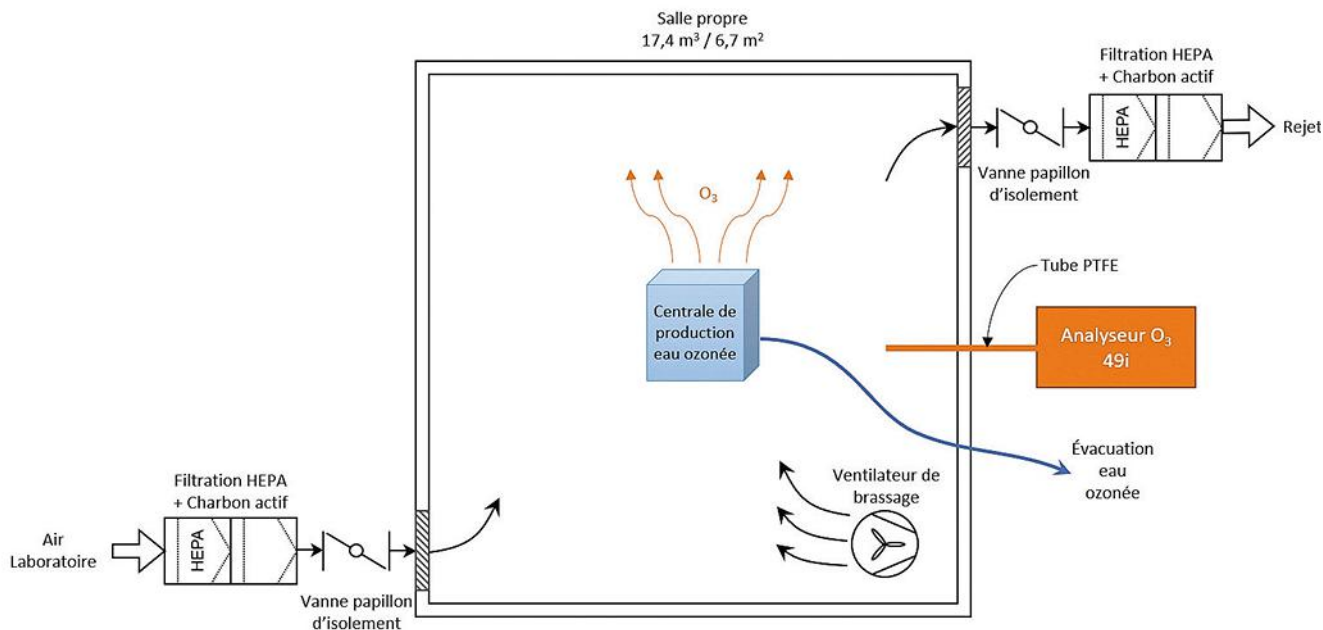
Scénarios opératoires et phases émissives

Pour analyser le procédé au plus près du travail réel, l'étude a été organisée en cinq phases opérationnelles (Cf. Figure 2) :

- **émission directe** : mesure des fuites des centrales (circuits internes et destructeurs catalytiques),



← FIGURE 2
Schéma de principe des phases opérationnelles étudiées.



↑ FIGURE 3
Schéma de l'installation expérimentale pour l'évaluation des émissions d'ozone par une centrale de production d'eau ozonée seule.

l'eau produite étant, dans ce cas, évacuée hors de la salle propre d'essais (Cf. Figure 3) ;

- **dispensation** : quantification du dégazage lors du soutirage, en comparant les configurations « avec remous » (chute libre de 40 cm) et « sans remous » (tuyau d'arrivée immergé). L'influence de la différence de hauteur entre la centrale et le point de sortie (effet siphon) a également été investiguée ;
- **stockage statique** : évaluation de l'émission au-dessus de contenants ouverts (seaux de 15 L) ;
- **application au sol** : simulation de nettoyage par film mince (balai à franges) pour quantifier les masses d'eau déposées et les émissions associées ;
- **pulvérisation** : utilisation d'un bras robotisé (UR10e) pour standardiser le geste technique, avec collecte simultanée de l'eau récupérée après impact pour analyse par stripage.

Quantification des émissions d'ozone gazeux

Les mesures ont été réalisées dans une salle propre d'un volume de 17,4 m³ à ventilation contrôlée (exemple de configuration pour l'évaluation de l'émission directe des centrales ; Cf. Figure 3). La concentration en ozone atmosphérique a été suivie en continu par un analyseur UV de référence (Thermo Scientific 49i), prélevant un débit de 1,2 L/min. Les limites instrumentales de détection (LOD_c) et de quantification (LOQ_c), où l'indice c désigne la concentration gazeuse en ozone dans l'air, sont respectivement de 2,0 ppbv et 6,0 ppbv.

La détermination des flux massiques d'ozone repose sur un bilan de matière transitoire appliqué au volume de confinement, assimilé à un volume parfaitement mélangé :

$$V \cdot \frac{dC}{dt} = E - Q \cdot (C - C_0) \quad (1)$$

où V est le volume de la salle propre [m³], C la concentration massique d'ozone dans l'air [µg/m³], t le temps [min], E le flux massique d'émission [µg/min], Q le débit de renouvellement d'air [m³/min] et C₀ la concentration massique d'ozone dans l'air entrant [µg/m³].

Dans les conditions expérimentales retenues pour le calcul, le terme de renouvellement d'air a été considéré comme négligeable sur l'intervalle étudié. Le flux d'émission a donc été estimé à partir de la pente de la régression linéaire de la concentration atmosphérique mesurée entre t₁ et t₂ :

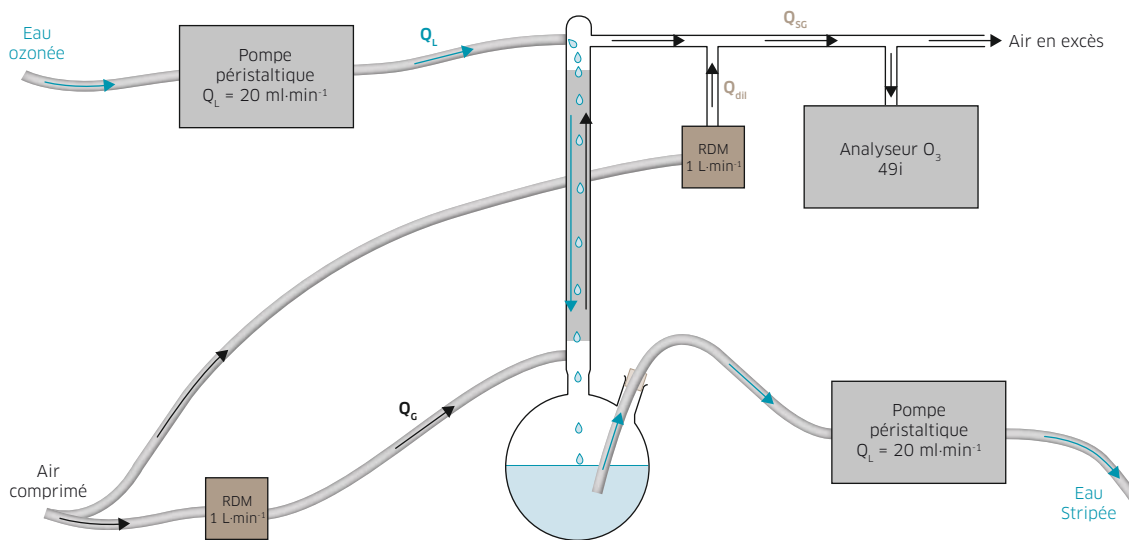
$$E = V \cdot \left(\frac{dC}{dt} \right)_{[t_1, t_2]} \quad (2)$$

où dC/dt_[t₁, t₂] correspond à la pente de la droite de régression ajustée aux concentrations instantanées mesurées dans la salle propre pendant la phase expérimentale considérée.

Cette approche présente une limite de détection LOD_E et une limite de quantification LOQ_E du flux massique d'émission, noté « E », respectivement de 0,1 µg/min et de 0,3 µg/min. L'incertitude élargie (k = 2) sur la détermination du flux massique d'émission est évaluée à 3,3 %.

Quantification de l'ozone dissous

La concentration de l'ozone dissous a été suivie grâce à deux approches complémentaires. La première approche repose sur des méthodes colorimétriques qui ont été utilisées pour des contrôles ponctuels



← FIGURE 4
Schéma du montage de stripage pour la détermination de l'ozone dissous par transfert gaz-liquide et mesure en phase gazeuse.

rapides. La seconde approche est une méthode par stripage dynamique qui a été développée afin de permettre un suivi quantitatif continu de la concentration aqueuse en transférant de manière contrôlée l'ozone dissous vers une phase gazeuse analysée en ligne (Cf. Figure 4).

Pour cette seconde approche, un échantillon d'eau ozonée alimente en continu (20 mL/min) une colonne de verre garnie d'anneaux de Raschig, opérée à contre-courant par un flux d'air épuré (1 L/min). La méthode présente une limite de détection LOD de $4,4 \cdot 10^{-5}$ mg/L, une limite de quantification LOQ de $1,5 \cdot 10^{-4}$ mg/L et une incertitude élargie relative ($k = 2$) de 4,1 %.

Résultats

Émissions intrinsèques aux centrales (émission directe par les appareils lors de la production d'eau ozonée)

L'évaluation des centrales seules met en évidence des comportements différenciés selon l'architecture des appareils (Cf. Figure 5). Pour la centrale dépourvue de dégazeur (B), aucune émission intrinsèque n'a été détectée au-dessus de la limite de détection. En revanche, pour les équipements dotés de systèmes de traitement interne (dégazeur et destructeur catalytique, centrales A, C et D), des débits d'émission massiques médians compris entre 8 µg/min et 100 µg/min ont été observés, prouvant que la seule présence de ces modules de traitement ne garantit pas l'absence de rejets atmosphériques.

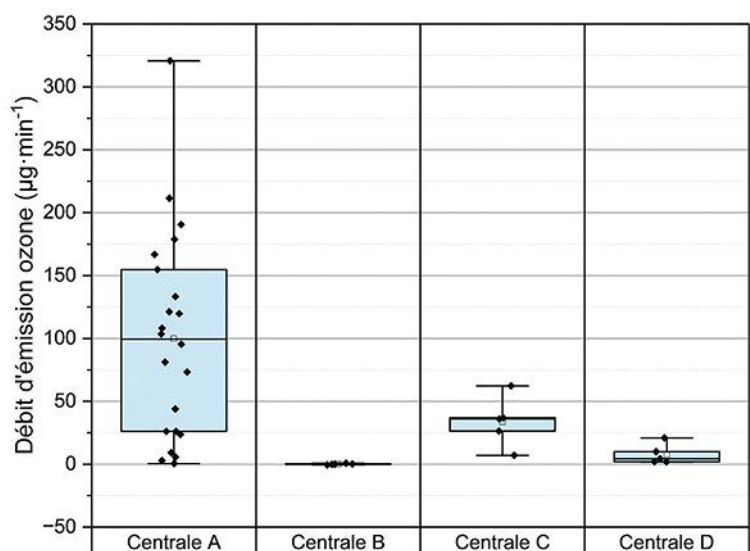
L'analyse temporelle souligne par ailleurs que la dynamique d'émission est étroitement liée à l'historique d'utilisation de l'appareil. Pour la centrale C, après une période de non-utilisation prolongée (supérieure à 24 heures), une phase initiale peu émissive est systématiquement observée avant une augmentation nette des flux d'émission lors de la montée en régime stationnaire. À l'inverse, lors

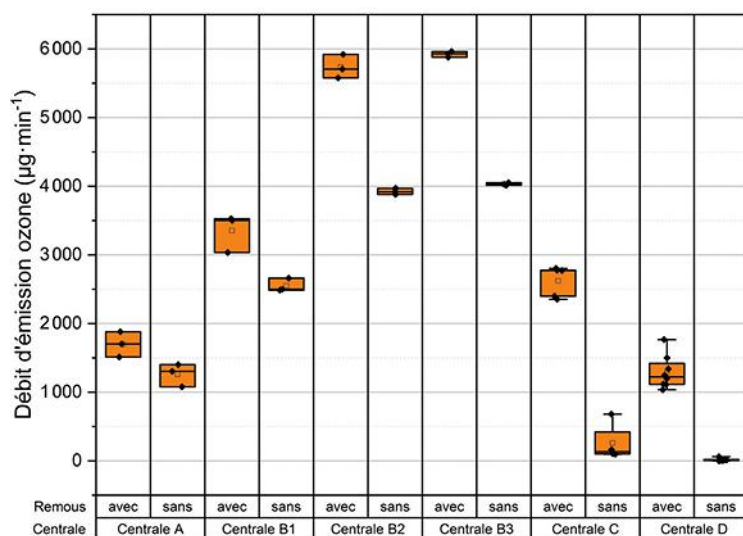
de cycles d'utilisation successifs et rapprochés, les émissions gazeuses sont immédiates dès le démarrage. Un contrôle ponctuel réalisé après une longue pause peut donc occulter le risque réel, tandis qu'un utilisateur opérant par séquences répétées s'expose instantanément aux flux nominaux. En outre, ces phases transitoires modifient non seulement les émissions, mais aussi la concentration d'ozone dissous disponible au point d'usage.

Dispensation : une phase très sensible aux conditions hydrauliques

La Figure 6 synthétise les débits d'émission d'ozone gazeux évalués aux débits d'eau nominaux des différentes centrales. L'analyse démontre une augmentation systématique des émissions lors d'une dispensation générant une chute d'eau de 40 cm (« avec remous ») comparativement à un soutirage où l'extrémité du tuyau est immergée dans le réceptacle (« sans remous »). Ces essais

↓ FIGURE 5
Débit d'émission d'ozone gazeux par les centrales seules isolées dans la salle propre d'essai.





↑ FIGURE 6
Débits d'émission d'ozone gazeux lors de la dispensation (débit nominal). Comparaison selon l'équipement et l'hydrodynamique du soutirage : avec remous (hauteurs [centrale-sortie]/[sortie-surface] de 0/40 cm) et sans remous (40/0 cm).

confirment que la turbulence mécanique accroît le débit d'émission de manière cohérente pour tous les équipements.

En détail, une augmentation d'au moins un ordre de grandeur a été observée pour les systèmes C (la médiane passe de 132,8 µg/min à 2772,0 µg/min) et D (de 16,3 µg/min à 1223,2 µg/min). Pour la centrale A, l'augmentation s'établit de 1304,7 µg/min sans remous à 1704,0 µg/min avec remous. L'architecture matérielle conditionne directement l'amplitude de ces rejets. Le système à injection directe B génère les émissions les plus importantes en raison de l'absence de dégazeur interne : l'intégralité de l'ozone gazeux injecté pour enrichir l'eau est rejetée au point de dispensation. Les niveaux

d'émission de cette centrale B, déjà très élevés en soutirage sans remous (médianes comprises entre 2500,0 µg/min et 4027,7 µg/min selon le niveau de puissance réglé, B1 à B3), subissent un stripage additionnel de 40 % à 47 % sous l'effet de l'agitation, pour atteindre 3501,7 µg/min à 5929,3 µg/min.

Les essais ont aussi mis en évidence que, lorsqu'une différence de hauteur importante existe entre la centrale et le point de soutirage (sortie du tuyau placée en deçà de 40 cm en dessous de la centrale), un comportement de type siphon peut apparaître et perturber le fonctionnement du dégazage interne. Dans ce cas, l'émission n'est plus seulement liée à la turbulence du puisage, elle traduit également une mise en défaut du système de gestion de l'ozone résiduel à l'intérieur de la centrale.

Stockage de l'eau et application en film mince

À l'inverse des phases précédentes, le stockage de l'eau ozonée dans un récipient ouvert n'a pas conduit à des émissions mesurables dans les conditions retenues. Le cas d'une application en film mince sur le sol a été examiné au moyen d'un calcul majorant fondé sur un bilan massique : la masse d'ozone contenue dans le volume d'eau effectivement déposé a été rapportée au volume d'air de la salle propre, en supposant de manière conservative un transfert intégral de cet ozone vers l'air. Contrairement aux phases précédentes, ce cas n'a donc pas été exprimé en flux d'émission, faute d'élément cinétique permettant de définir une durée représentative d'émission. Les calculs montrent que l'augmentation théorique maximale de la concentration dans la salle propre resterait

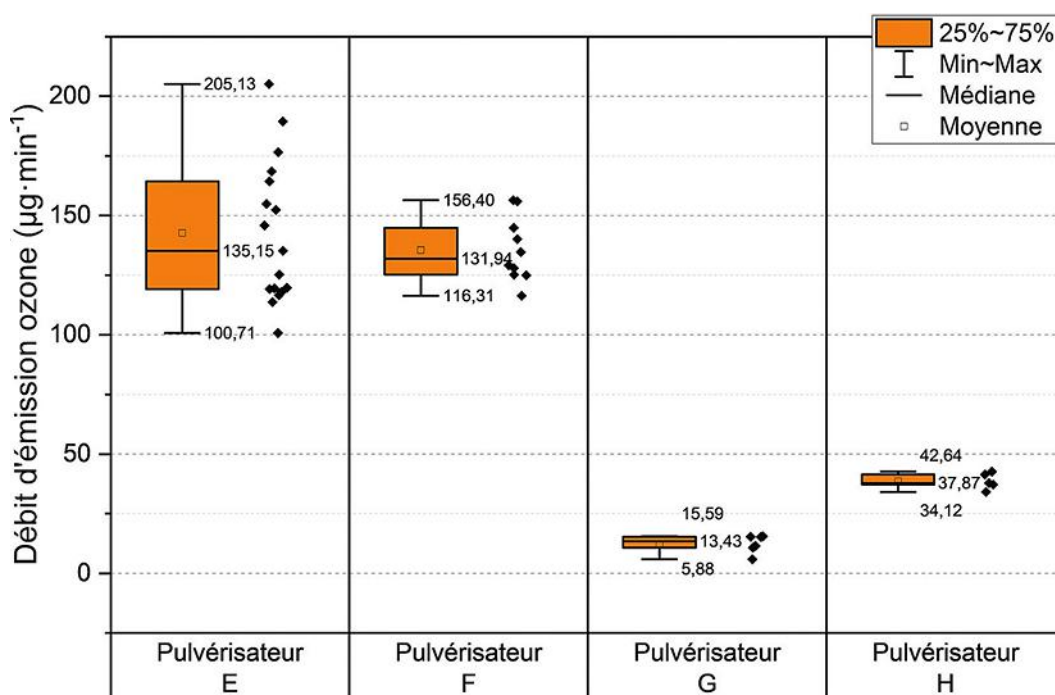
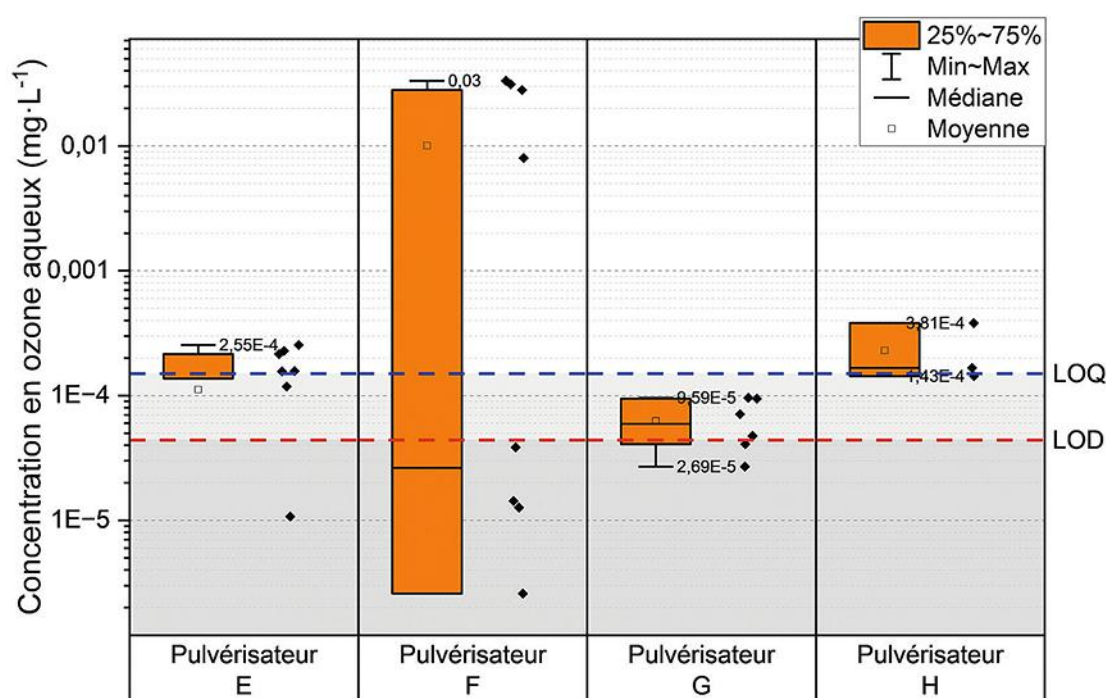


FIGURE 7 →
Débits d'émission d'ozone gazeux mesurés lors de la pulvérisation (µg·min⁻¹) pour les différents équipements testés.



← FIGURE 8
Concentration en ozone de l'eau collectée après pulvérisation et dépôt, en fonction du type de pulvérisateur.

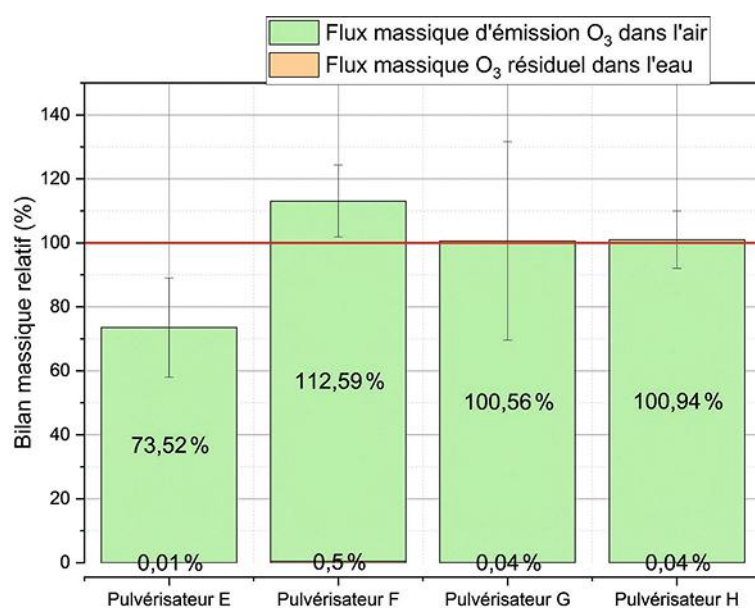
limitée à 2,3 ppbv, soit une valeur inférieure à la LOQ. En outre, cette approche conservatrice ne tient compte ni de la dégradation spontanée de l'ozone dissous au cours du temps, ni de sa consommation chimique au contact des fibres et des salissures des supports de lavage, deux phénomènes qui réduisent encore la fraction gazeuse émise.

Pulvérisation

L'analyse des débits d'émission révèle une dichotomie marquée selon la conception de l'équipement (Cf. Figure 7). Les pulvérisateurs électroniques, intégrant une cellule d'électrolyse pour une génération *in situ* lors de l'actionnement, génèrent les flux les plus élevés : le modèle E atteint une moyenne de $142,6 \pm 31,4$ $\mu\text{g}/\text{min}$, suivi par le modèle F à $135,6 \pm 12,6$ $\mu\text{g}/\text{min}$. À l'inverse, les pulvérisateurs mécaniques, préalablement remplis avec l'eau issue des centrales de production, agissent uniquement comme dispositifs d'aérosolisation et présentent des émissions moindres : $12,5 \pm 3,7$ $\mu\text{g}/\text{min}$ pour le système G et $38,7 \pm 3,3$ $\mu\text{g}/\text{min}$ pour le modèle H. L'analyse de la phase aqueuse collectée en aval de la buse confirme l'épuisement quasi total de l'ozone (Cf. Figure 8). Pour l'ensemble des technologies, l'ozone dissous de la phase aqueuse est transféré vers l'air lors du déplacement de la gouttelette. Les concentrations résiduelles du système G se situent systématiquement sous la LOQ, tandis que celles des modèles H et E fluctuent autour de la LOQ. Seule l'eau collectée après pulvérisation avec le modèle F a présenté, lors d'une session isolée, des traces d'ozone quantifiables mais extrêmement dispersées et faibles (jusqu'à 0,033 mg/L).

La répartition de l'ozone lors de la pulvérisation (Cf. Figure 9) a été exprimée relativement à une quantité de référence fixée à 100 %. Pour les pulvérisateurs électroniques E et F, cette référence est calculée à partir de la concentration théorique annoncée par le constructeur, la concentration réellement produite à la sortie du pulvérisateur ne pouvant être mesurée directement sans introduire un biais important. Les écarts observés par rapport à 100 %, négatif pour E et positif pour F, traduisent donc notamment l'écart entre cette référence théorique et la quantité d'ozone effectivement produite et mesurée au cours du bilan.

↓ FIGURE 9
Bilan massique relatif de l'ozone lors de la pulvérisation (répartition des flux en $\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$). La référence (100 %) correspond, pour les pulvérisateurs électroniques E et F, à la quantité d'ozone calculée à partir de la concentration théorique annoncée par le constructeur, et, pour les pulvérisateurs mécaniques G et H, à la quantité calculée à partir de la concentration initiale mesurée dans le réservoir.



Indépendamment de ces écarts au bilan de référence, la répartition entre les phases gazeuse et aqueuse montre un stripage quasi intégral lié à l'augmentation considérable de la surface d'échange air-eau lors de la pulvérisation. Plus de 99 % de l'ozone retrouvé dans le bilan après pulvérisation se retrouve dans la phase gazeuse. La pulvérisation transforme par conséquent le dispositif en une source d'émission atmosphérique, l'eau résiduelle étant dépourvue *a priori* de substance active au point d'impact.

Une modélisation de champ proche, basée sur un volume respiratoire hémisphérique de 20 cm de rayon, indique qu'une seule impulsion d'une seconde génère des concentrations locales dépassant 500 ppbv pour les modèles électroniques. Cette approche théorique confirme l'ordre de grandeur critique de l'exposition dans la zone respiratoire directe de l'opérateur.

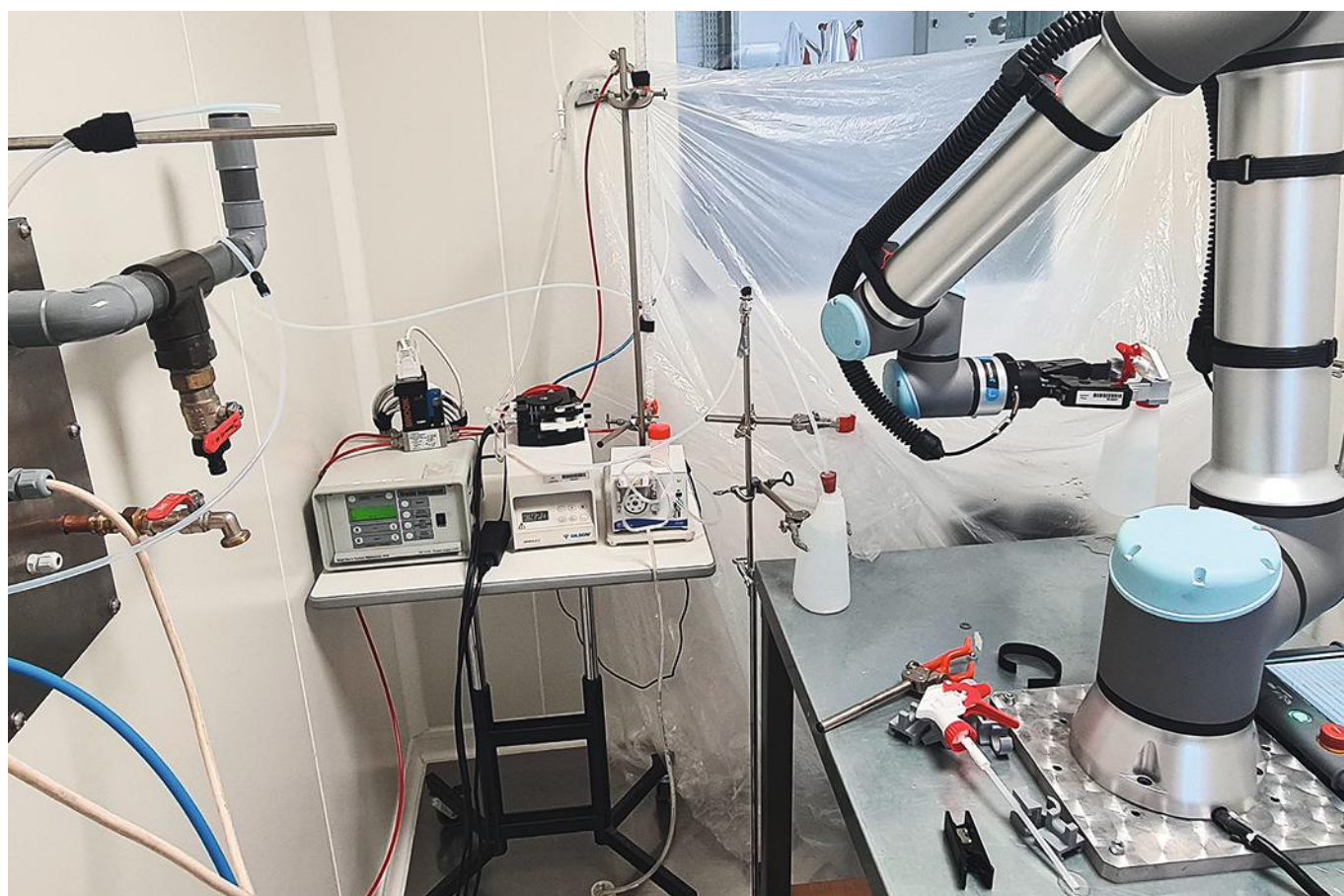
Enfin, l'ouverture des réservoirs après usage libère un volume de gaz accumulé dans l'espace de tête ou le circuit interne de certains appareils. Ce phénomène de relargage constitue une source d'exposition ponctuelle additionnelle dépassant localement les 2000 ppbv, indépendante du geste de pulvérisation proprement dit.

Bras robot utilisé pour l'évaluation des émissions d'ozone lors de la pulvérisation d'eau ozonée.

Discussion

Les résultats expérimentaux démontrent que le flux massique d'émission gazeuse ne dépend pas exclusivement de la technologie de génération, mais des conditions hydrodynamiques et aérodynamiques de la phase opératoire. Une centrale présentant des fuites indétectables en mode statique devient une source d'émission de premier ordre lors d'un soutirage turbulent. De la même façon, une solution d'eau ozonée stable au repos libère l'intégralité de sa charge gazeuse lors d'une pulvérisation. Cette variabilité dicte l'approche de prévention : l'évaluation du risque exige une analyse fine des gestes professionnels et des interfaces gaz-liquide réelles au poste de travail.

L'introduction de l'eau ozonée procède fréquemment d'une volonté de substitution visant à supprimer le stockage et l'utilisation de détergents ou de désinfectants. Si cette démarche réduit effectivement la manipulation de produits chimiques formulés, elle induit en revanche de nouveaux risques [6]. Ainsi, si le risque associé aux produits conventionnels de nettoyage et de désinfection est majoritairement cutané, celui inhérent à la production et à la manipulation de solutions d'eau ozonée est majoritairement respiratoire.



© Benjamin Sutter / INRS / 2026

Il découle de l'inhalation d'ozone, émis directement par dégazage des solutions d'eau ozonée dans la zone respiratoire. Par conséquent, cette démarche de substitution ne peut s'envisager sans une évaluation méthodologique rigoureuse. Cela implique de connaître la cinétique de transfert de l'ozone vers l'atmosphère de travail, au travers des débits d'émission vers la phase gazeuse.

Par ailleurs, les données expérimentales indiquent que, lors d'une pulvérisation, l'ozone est intégralement transféré vers l'air du lieu de travail avant l'impact de l'eau sur la surface. Concernant l'imprégnation de textiles de nettoyage ou l'application en film mince, le transfert massif vers l'air est faible, mais la consommation de l'ozone par oxydation de la charge organique ou du support textile est quasi instantanée. La décomposition immédiate de l'ozone, quel que soit le procédé d'application de l'eau ozonée, fait donc disparaître la perspective d'usage de ce liquide en tant que nettoyant par oxydation ou en tant que biocide [7]. Les résultats des travaux menés imposent, de plus, de proscrire la pulvérisation de l'eau ozonée. Ce procédé expose l'opérateur à de forts gradients de concentration. L'installation des centrales murales exige un dimensionnement aérodynamique des locaux et un contrôle des raccordements pour éviter les effets « siphon » perturbant les modules de dégazage internes. La mise en place d'un captage à la source au point de dispensation est impérative pour prévenir une exposition respiratoire de l'opérateur. Pour les méthodes manuelles telles que l'imprégnation des bandeaux de lavage, on note l'absence d'émission atmosphérique mais le suivi de la concentration aqueuse maintenue au contact des surfaces reste un préalable

incontournable pour statuer sur l'existence d'une action nettoyante ou biocide réelle.

Conclusion

L'étude montre que l'eau ozonée ne peut pas être considérée comme un produit « conventionnel » de nettoyage ou de désinfection. Son comportement dépend étroitement de la phase du cycle d'usage considérée. Les situations les plus critiques pour l'exposition respiratoire des opérateurs sont associées aux perturbations mécaniques qui favorisent le transfert de l'ozone vers l'air, en particulier lors de la dispensation avec remous et, plus encore, lors de la pulvérisation. Les mesures montrent que la pulvérisation expose les voies respiratoires à des pics d'ozone sans déposer de substance active sur la surface. Par ailleurs, faute de stabilité de l'ozone sur le support, il semble difficile de garantir une action oxydante ou biocide sur une surface lors de l'application par étalement d'eau ozonée en film mince.

Enfin, l'installation des centrales nécessite des systèmes de captage à la source et une ventilation des locaux, souvent absents des zones dédiées aujourd'hui au matériel d'entretien. En conclusion, le remplacement des produits de nettoyage ou de désinfection conventionnels par l'eau ozonée déplace le risque chimique vers l'air ; de plus, au regard des concentrations résiduelles d'ozone mesurées ou calculées, une action sur les surfaces autre que celle de l'eau utilisée seule apparaît discutable. ●

1. ppb : partie par milliard.

2. CLP : en anglais, Classification, labelling, packaging (classification, étiquetage et emballage).

BIBLIOGRAPHIE

[1] INRS – *Opérations de nettoyage et de désinfection*. L'INRS met en garde contre les procédés utilisant l'eau ozonée. Communiqué de presse, 14 septembre 2023. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/header/presse/cp-operations-nettoyage-desinfection.html>

[2] INRS – *Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) : substances chimiques*. Base de données. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/vlep.html> (mise à jour en 2026).

[3] INRS – *Classification et étiquetage des produits chimiques*. Dossier web. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/classification-etiquetage-produits-chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html> (mis à jour en avril 2023).

[4] COMMISSION EUROPÉENNE – *Règlement délégué (UE) 2025/1222 de la Commission du 2 avril 2025 modifiant le règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen*

et du Conseil en ce qui concerne la classification et l'étiquetage harmonisés de certaines substances. Accessible sur : https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2025/1222/oj

[5] SANDER R. – Compilation of Henry's law constants (version 5.0.0) for water as solvent. *Atmospheric Chem. Phys.*, 2023, 23, 19, pp. 10901-12440. Accessible sur : <https://doi.org/10.5194/acp-23-10901-2023>

[6] LEBUISSON A. – Le nettoyage sans utilisation de produits chimiques est-il vraiment sans risques ? Le cas de l'eau ozonée. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 2024, 85, 5, p. 101986. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.admp.2024.101986>

[7] INRS – *La désinfection des surfaces*. ED 6188, 2026. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206188>

Notes techniques

ENTREPÔTS DE PNEUMATIQUES: UNE QUALITÉ D'AIR DÉGRADÉE

Cet article propose une présentation des composés chimiques que l'on peut retrouver dans l'air des entrepôts de pneumatiques, les facteurs impactant leur émission, ainsi qu'un aperçu de l'exposition des salariés en fonction de leur activité.

LAURENCE
ROBERT,
ROMAIN
GUICHARD
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

L'exposition des salariés d'entrepôts logistiques au risque chimique provenant des produits stockés est mal connue. En 2024, près de 3,4 millions de salariés en équivalent temps plein travaillaient dans le secteur du commerce de détail et de la logistique en France [1]. Pour ces travailleurs, l'exposition aux composés chimiques peut passer inaperçue par méconnaissance du risque associé. En effet, ne manipulant pas directement des produits chimiques mais des biens de consommation courants, peu de salariés, employeurs ou préventeurs peuvent imaginer un risque chimique pour ces opérateurs. Or les composés organiques volatils (COV) émis par les produits de consommation stockés peuvent contribuer à dégrader la qualité de l'air des locaux de travail. Si des études ont été conduites spécifiquement sur la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les commerces [2,3], très peu concernent les entrepôts

logistiques. Cependant, plusieurs spécificités de ces zones de stockage peuvent laisser présager une dégradation de la QAI : zones surchargées en produits neufs, turnover important avec l'arrivée journalière de conteneurs à dépoter, zones pas ou peu ventilées et dans lesquelles les températures ne sont pas maîtrisées et peuvent être élevées. Dans le cadre d'une étude récemment conduite à l'INRS relative à la caractérisation de la QAI dans un panel de dix entrepôts logistiques stockant des produits divers, il est apparu que la filière du stockage de pneumatiques (ci-après désignés par le terme « pneus »), présentait une dégradation de la QAI supérieure aux autres entrepôts du panel, si l'on se réfère aux concentrations de COV totaux présentées sur la *Figure 1*. Les COV totaux comprennent un ensemble de composés chimiques présentant de 6 à 16 atomes de carbone. Ils sont quantifiés à l'aide de prélèvement actif sur support Tenax et peuvent être un bon indicateur de diagnostic rapide de la QAI.

RÉSUMÉ

La caractérisation de la qualité de l'air intérieur dans le secteur de la logistique a révélé une dégradation significative de cette dernière dans les entrepôts de stockage de pneumatiques,

avec une signature chimique spécifique aux pneumatiques et la présence de composés cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques. Dans ce contexte, cet article propose un éclairage sur les composés

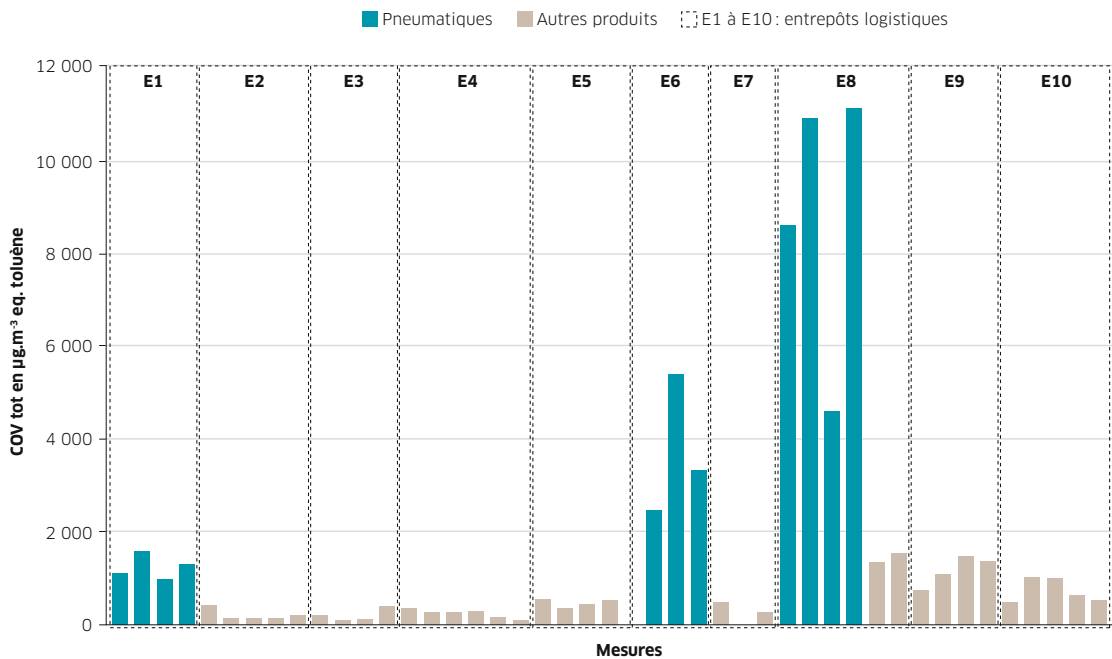
chimiques que l'on peut retrouver dans l'air de ces environnements de travail, les facteurs impactant leur émission, mais aussi un aperçu de l'exposition des salariés en fonction de leur activité.

TYRE WAREHOUSES: DEGRADED AIR QUALITY

The characterisation of indoor air quality in the logistics sector has revealed a significant deterioration in air quality within tyre storage warehouses, with a chemical

signature specific to tyres and the presence of carcinogenic, mutagenic or reprotoxic compounds. Against this backdrop, this article sheds light on the chemical compounds that

may be found in the air of these work environments and the factors affecting their emission, while also providing an overview of employee exposure according to their activity.



← FIGURE 1
Concentrations en COV totaux mesurées dans un panel de dix entrepôts logistiques.

Ces mesures de concentrations en COV totaux révèlent que les entrepôts de pneumatiques présentent une qualité de l'air nettement plus dégradée que les autres entrepôts stockant des produits divers (mobilier, objets de décoration, produits d'hygiène et d'entretien, produits de second œuvre...) emballés et filmés. C'est pourquoi cet article propose un focus sur les déterminants de la QAI puis sur sa caractérisation, en termes de composés majoritaires et de niveaux de concentration, dans la filière du stockage de pneus. Ces données sont également comparées à celles du panel complet des dix entrepôts logistiques évoqués

précédemment, afin de compléter l'analyse de la situation.

Comprendre les déterminants

Dans le but d'identifier les composés émis par ce type de matériau, un dégazage d'éprouvettes de pneus en cellule d'émission a été conduit selon les normes adéquates [4,5]. Des échantillons de quelques centimètres, prélevés sur un pneu neuf, ont été placés dans une cellule d'émission balayée par un gaz inerte à deux températures fixées à 30°C et 60°C. La valeur de 30°C représente une température atteignable en intérieur en période de forte

↓ TABLEAU 1
Principaux COV émis par l'échantillon en µg/g de pneu lors des essais de dégazage.

COMPOSÉS	N° CAS	DÉGAZAGE À 30 °C	DÉGAZAGE À 60 °C	RAPPORT DÙ À L'ÉLEVATION DE TEMPÉRATURE
Aniline	62-53-3	0,07	1,75	× 25
Benzothiazole	95-16-9	0,42	10,73	× 25
Méthylisobutylcétone (MIBK)	108-10-1	0,34	0,48	× 1,5
Octanoate d'éthyle	106-32-1	0,05	1,15	× 23
Cyclohexanone	108-94-1	0,33	0,53	× 1,6
4-(1,1 diméthyléthyl)cyclohexanone	98-53-3	< LQ	0,74	–
Naphtalène	91-20-3	< LQ	0,35	–
3-heptène, 2,2,4,6,6-pentamethyl	123-48-8	< LQ	0,37	–
Benzénamine, N-(2,2-diméthylpropyl)-N-méthyl	53927-61-0	< LQ	1,06	–
Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-triméthyl	147-47-7	< LQ	4,42	–
Phénol, 4-(1,1,3,3-tétraméthylbutyl)	140-66-9	< LQ	6	–
Diphénylamine	122-39-4	< LQ	1,47	–
COV totaux*	–	1,51	37,58	× 25

* Les COV totaux sont exprimés en µg équivalent toluène par gramme de pneu. La limite de quantification (LQ) des COV est de 0,03 µg/g de pneu.



ENCADRÉ LISTES DES COMPOSÉS QUANTIFIÉS DANS CETTE ÉTUDE

Composés cibles de la QAI :

- Toluène
- O-/m-/p-xylène*
- Styrène
- Alpha-pinène
- Formaldéhyde
- Acétaldéhyde

Composés spécifiques aux pneus :

- Cyclohexanone
- Benzothiazole
- MIBK
- Nitrosamines
- Aniline

* O-/m-/p-xylène : ortho-, méta- et para- xylènes.

chaleur estivale. 60°C est une température extrême mais qui peut être observée dans les conteneurs exposés au soleil en attendant leur déchargement. Pour ces essais, des prélèvements sur tubes Tenax suivis d'analyses GC-MS (chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse) ont été effectués pour connaître les composés susceptibles d'être émis. Même si cette étape a été conduite sur deux échantillons issues d'un même pneu, elle permet d'identifier des COV d'intérêt émis par les pneus pour les quantifier ensuite dans des environnements de travail. On fait l'hypothèse que les COV spécifiques et majoritaires émis par le produit « pneu » sont identiques d'un pneu à l'autre.

Ces essais de dégazage révèlent deux informations : les COV émis spécifiquement par les pneus ainsi que l'impact de la température sur leur taux d'émission. Les composés quantifiés au cours de ces essais de dégazage sont répertoriés dans le *Tableau 1*. Certains composés sont classés cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques (CMR), comme l'aniline en catégorie C2, M2 et la MIBK en catégorie C2 [6]. Lors des essais à 60°C, en comparaison de ceux réalisés à 30°C, l'émission d'aniline et de benzothiazole augmente d'un facteur 25, soit respectivement de 0,07 à 1,75 µg/g de pneu et de 0,42 à 10,73 µg/g de pneu. Dans des proportions moindres, la MIBK

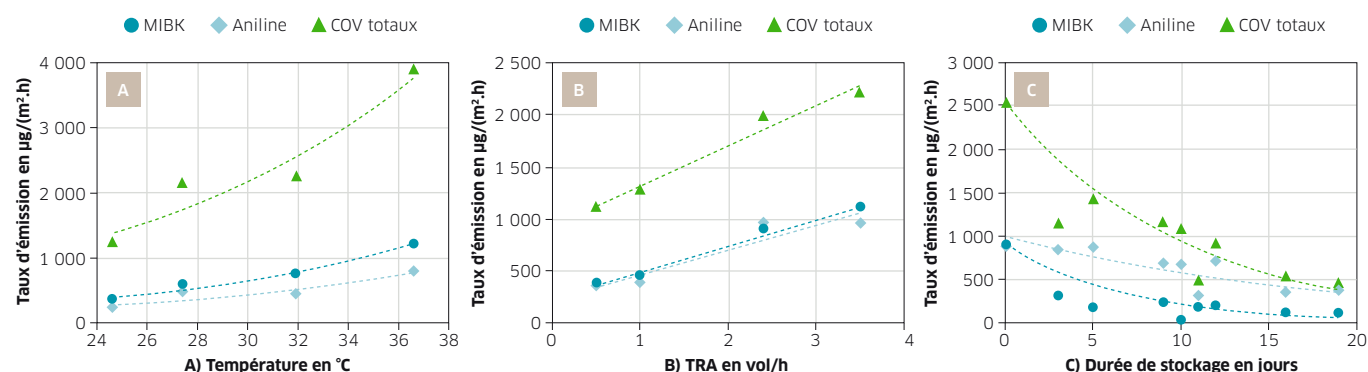
et la cyclohexanone augmentent aussi d'un rapport 1,5 entre les essais à 30°C et à 60°C. Enfin, d'autres composés ne sont émis qu'aux températures les plus élevées, comme le naphthalène par exemple.

Compte tenu de ces résultats et dans l'optique de mieux caractériser la QAI dans les entrepôts logistiques de pneumatiques, il a été choisi de quantifier des composés spécifiques aux pneumatiques en complément des composés cibles de la QAI (Cf. *Encadré 1*) : l'aniline, la MIBK, la cyclohexanone et le benzothiazole. Ces composés ont été choisis soit parce qu'ils sont CMR, soit parce qu'ils sont apparus de façon significative dès l'essai conduit à 30 °C, qui représente une température possible de travail notamment dans les entrepôts l'été. L'octanoate d'éthyle n'ayant pas d'effet connu sur la santé n'a pas été retenu.

Le passage des COV contenus à l'intérieur de pneus vers l'air va contribuer aux concentrations ambiantes, ce qui peut être traduit par une grandeur appelée « taux d'émission »¹. À partir d'un montage expérimental spécifique [7], les taux d'émission de plusieurs composés cibles ont été étudiés afin de compléter la connaissance des déterminants majeurs du transfert des COV des pneus vers l'air. La *Figure 2* présente les taux d'émission de MIBK, d'aniline et de COV totaux en fonction de la température de l'air, de la durée de stockage des pneus et du taux de renouvellement de l'air (TRA), grandeur représentant le ratio du débit d'air neuf par le volume du local.

On note une dépendance des taux d'émission à la température de l'air dans laquelle les pneus sont stockés, au taux de renouvellement de l'air du local et à la durée de stockage. Dans la plage de températures de ces essais de 24,5°C à 37°C, choisie car représentative de températures intérieures estivales, les taux d'émission peuvent augmenter d'un facteur de plus de 3. De la même façon, on retient une augmentation des taux d'émission avec l'augmentation du taux de renouvellement de l'air, grandeur directement liée à la ventilation du local. Au contraire, la durée de stockage des produits induit une baisse des émissions, traduisant l'épuisement des COV intrinsèques au produit.

↓ FIGURE 2
Exemples de taux
d'émission de
MIBK, d'aniline
et de COV totaux
par l'échantillon
de pneu testé
en fonction :
A) de la
température
de l'air à un TRA
de 3,5 vol/h ;
B) du TRA : taux
de renouvellement
de l'air à 24,5 °C ;
et C) de la durée
de stockage du
produit à 24,5 °C
et 3,5 vol/h.



Caractérisation de la QAI dans trois entrepôts de pneus

Trois entrepôts de stockage de pneus ont été investigués. Deux entrepôts sur les trois stockaient exclusivement des pneus pour automobiles ou remorques ; les mesures y ont été conduites en période estivale. Le troisième, investigué en hiver, réservait une grande partie de son aire de stockage aux pneumatiques de véhicules agricoles et de chantier, soit des pneus de plus grand diamètre. Dans chacun de ces entrepôts, la QAI a été évaluée en plusieurs localisations intérieures sur une journée de travail. Une mesure en extérieur dans le voisinage proche de chaque entrepôt a été réalisée par souci de comparaison. Les mesures par prélèvement actif suivi d'analyse comprennent la quantification des COV et aldéhydes d'intérêt.

En plus du fait que les entrepôts de pneus présentent une QAI nettement plus dégradée que les autres entrepôts de stockage, le *Tableau 2* montre des concentrations significatives de MIBK, entre 699 µg/m³ et 2502 µg/m³, mais aussi de cyclohexanone, d'aniline et de benzothiazole dont les concentrations moyennes sont respectivement de 454 µg/m³, 873 µg/m³ et 236 µg/m³. Ces composés spécifiques aux pneumatiques ont été retrouvés en moyenne en quantité supérieure aux COV cibles de la QAI comme le styrène, les xylènes, le toluène ou l'α-pinène. Ce constat met en évidence une signature chimique inhérente au produit

« pneumatique ». Pour l'aniline, qui est CMR, les concentrations ambiantes atteignent 1779 µg/m³. À titre indicatif, même s'il ne s'agit pas d'une mesure d'exposition individuelle, cette valeur représente 23 % de la VLEP. Les concentrations en nitrosamines, qui ont été mesurées dans deux des trois entrepôts de pneus, se sont avérées inférieures à 0,1 µg/m³.

Quelle exposition pour les salariés ?

Les mesures en ambiance *in situ* ont permis d'objectiver une qualité de l'air dégradée dans les locaux de stockage de pneumatiques. Les mesures sur salariés permettent de compléter cette caractérisation en estimant l'exposition en fonction des tâches exécutées dans ces environnements de travail. Parmi les différents postes de travail caractéristiques de ce secteur d'activité, trois d'entre eux ont été plus particulièrement étudiés :

- les dépoteurs, salariés qui évoluent dans les conteneurs, espaces confinés, fortement chargés en pneus et ayant pu subir des expositions au soleil lors de leur acheminement, entraînant un dégazage important de COV ;
- les agents de manutention qui disposent les pneus dans des racks de rangement au bout d'un tapis convoyeur. Ces salariés, en contact direct avec les produits, évoluent dans les halls de déchargement, zone moins dense en produits et aérées par l'ouverture régulière des portes de quais ;

↓ **TABLEAU 2**
Concentration en aldéhydes, principaux COV et COV totaux dans les trois entrepôts de pneus investigués, en µg/m³ : comparaison à la concentration moyenne d'autres entrepôts (hors pneus) et à la valeur extérieure.

COMPOSÉS	ENTREPÔTS DE PNEUS			AUTRES ENTREPÔTS DE L'ÉTUDE HORS PNEUS		CONCENTRATION EXTÉRIEURE MOYENNE
	NOMBRE DE MESURES	PLAGE DE CONCENTRATIONS	CONCENTRATION INTÉRIEURE MOYENNE	CONCENTRATION INTÉRIEURE MOYENNE	COMPARAISON PAR RAPPORT AUX AUTRES ENTREPÔTS	
Formaldéhyde 50-00-0	13	[2,1 ; 20,4]	6	34	–	2,3
Acétaldéhyde 75-07-0	13	[2,1 ; 83,8]	29	17	+	2,8
MIBK 108-10-1	8	[699 ; 2 502]	1 515	< LQ	+++	< LQ
Cyclohexanone 108-94-1	7	[195 ; 836]	454	< LQ	++	< LQ
Toluène 108-88-3	12	[16,1 ; 131]	57	17	+	0,8
Aniline 62-53-3	7	[233 ; 1 779]	873	< LQ	++	< LQ
Benzothiazole 95-16-9	7	[96 ; 345]	236	< LQ	++	< LQ
o-, m-, p- Xylènes 95-47-6 & 108-38-3 & 106-42-3	12	[14,4 ; 417]	169	28	++	2,2
Styrène 100-42-5	12	[18,4 ; 537]	194	12	++	1,8
Alpha-pinène 80-56-8	8	[1,4 ; 6,6]	4,4	59	–	0,2
COV totaux*	12	[415 ; 11 188]	4 337	541	+++	41,6

* Les COV totaux sont exprimés en µg équivalent toluène par m³ d'air. LQ : Limite de quantification.



↓ **TABLEAU 3 Concentrations en aldéhydes et COV mesurées sur salariés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à différents postes de travail, moyenne et étendue.**

COMPOSÉS	ENTREPÔTS DE PNEUS			HORS ENTREPÔTS DE PNEUS
	 DÉPOTEUR	 CONVOYEUR	 PRÉPARATEUR	TOUS POSTES CONFONDUS
	NOMBRE DE SALARIÉS			
	3	1	3	11
Formaldéhyde VLEP-8h : 370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11 [10 ; 11]	12	5 [4 ; 6]	31 [8 ; 79]
Acétaldéhyde	69 –	N.d.	68 [64 ; 72]	19 [6 ; 53]
Toluène VLEP-8h : 76 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	129 [74 ; 184]	76	84 [66 ; 100]	15 [1 ; 51]
Styrène VLEP-8h : 100 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	408 [275 ; 580]	302	316 [268 ; 357]	14 [6 ; 26]
o,m,p Xylènes VLEP-8h : 221 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	463 [375 ; 528]	206	274 [228 ; 297]	37 [3 ; 94]
Alpha-pinène	N.d.	N.d.	N.d.	66 [10 ; 314]
Benzène VLEP-8h : 660 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22 [13 ; 36]	7	18 [7 ; 25]	0,6 [0,1 ; 1]
Cyclohexanone VLEP-8h : 40 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	657 [533 ; 863]	306	468 [412 ; 526]	N.d.
Aniline VLEP-8h : 7 740 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	916 [538 ; 1 659]	564	896 [441 ; 1 228]	N.d.
MIBK VLEP-8h : 83 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3 703 [2 903 ; 4 358]	1 759	2 153 [1 259 ; 3 226]	N.d.
Benzothiazole	265 [181 ; 361]	306	234 [145 ; 362]	N.d.
COV totaux*	9 394 [6 889 ; 13 106]	7 427	7 167 [5 386 ; 8 311]	511 [148 ; 1 280]

* Les COV totaux sont exprimés en μg équivalent toluène par m^3 d'air. N.d. : non détecté.

- les préparateurs, qui, à l'aide de chariots électriques, vont acheminer ou récupérer les pneumatiques dans l'intégralité des cellules de l'entrepôt. Ces salariés ne sont pas en contact direct avec le produit mais peuvent être amenés à évoluer dans des cellules

à forte densité de pneus et, selon la configuration de l'entrepôt, pouvant être très peu aérées car ne disposant pas de portes de quais.

Les salariés ont été équipés de sacs à dos contenant les pompes de prélèvement et les tubes adéquats permettant de prélever, au niveau de leurs voies respiratoires, les mêmes composés gazeux que ceux recherchés dans l'air ambiant. Le benzène, en tant que composé CMR, a été ajouté lors des mesures sur salariés. Ces prélèvements ont été effectués pendant la durée de leur tâche de travail, soit d'une à deux heures pour les tâches de dépotage et convoyage et cinq à six heures pour la préparation de commande ou le rangement des pneus dans les cellules. Le *Tableau 3* regroupe les concentrations mesurées sur les opérateurs. Les résultats des mesures effectuées sur les salariés des entrepôts ne stockant pas de pneumatiques sont également proposés pour comparaison. La valeur de la VLEP-8h est indiquée comme repère lorsqu'elle existe pour le composé ciblé.

Les salariés dépotant les conteneurs sont les plus exposés. La densité de produits dans un conteneur, le faible renouvellement de l'air et le dégazage de COV provenant de la marchandise durant le transport, dégradent la qualité de l'air respiré par ces



travailleurs. Même si de nombreux travaux ont été menés par l'INRS sur le sujet, notamment relatifs à la ventilation des conteneurs en vue de diminuer l'exposition chimique des déposeurs [8-10], il ressort qu'il reste encore un travail de sensibilisation à mener dans ce secteur. Si la tâche de travail impacte significativement l'exposition des salariés dans la filière logistique, ces travaux montrent que les salariés des trois entrepôts de stockage de pneumatiques sont plus exposés que ceux évoluant dans les sept autres environnements de l'étude où les marchandises, quelles qu'elles soient, sont stockées emballées.

Dans les entrepôts de stockage de pneus, les mesures révèlent que les salariés sont exposés à un cocktail de composés dont certains sont des CMR : formaldéhyde, aniline, MIBK, styrène et benzène. Bien que la valeur limite d'exposition professionnelle pour une exposition de huit heures de chacun de ces composés ne soit pas atteinte, l'effet de mélange des substances peut conduire à des situations risquées pour les salariés. L'outil MiXie France [11], utilisé avec les concentrations de six composés mesurés sur l'un des trois salariés déposeurs du panel, illustre l'effet de la polyexposition chimique sur la santé dans les *Tableaux 4 et 5*. L'outil ne peut pas statuer sur le risque cancérogène car l'hypothèse d'additivité pour ce risque n'est pas autorisée dans le logiciel MiXie, mais alerte sur les effets cancérogènes de cinq composés inhalés parmi les six au cours de sa tâche de dépotage, sur les effets sensibilisants de deux d'entre eux (aniline et formaldéhyde), sur la présence d'un perturbateur endocrinien. Il pointe également de possibles effets cumulatifs significatifs pour le risque d'atteinte oculaire, le risque de perturbation du transport de

l'oxygène et le risque d'atteintes des voies respiratoires supérieures.

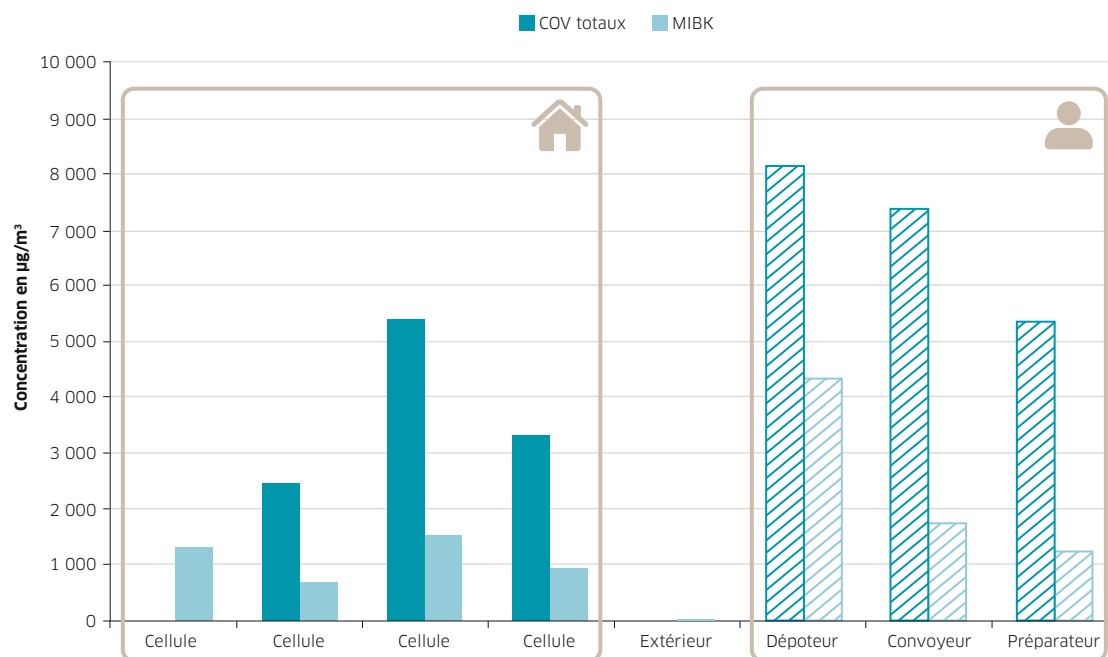
En outre, la comparaison entre les valeurs mesurées montre une exposition qui peut être, à certains postes de travail et pour certains composés, plus importante que le niveau mesuré en ambiance dans l'air intérieur des entrepôts. La *Figure 3* illustre ce constat, à travers les concentrations en COV totaux et en MIBK, dans l'un des trois entrepôts investigués.

Quels moyens de prévention préconiser ?

Dans ces entrepôts pour lesquels la QAI est dégradée, les leviers d'actions pour la réduction des sources sont limités, y compris aux postes de travail les plus exposants, puisque le produit est au cœur de l'activité et que les gestionnaires de ces plateformes ne maîtrisent pas les processus de fabrication des produits qu'ils stockent. L'élimination ou la substitution des produits émissifs est donc difficile à mettre en place. Dans ce contexte, la ventilation des locaux constitue le moyen de prévention

	COMPOSÉS	CONCENTRATION SAISIE EN MG.M ⁻³	POURCENTAGE DE LA VLEP
S1	MIBK	3,8	5
S2	Cyclohexanone	0,86	2
S3	Aniline	1,6	21
S4	Styrène	0,58	1
S5	Formaldéhyde	0,01	3
S6	Benzène	0,016	1

↑ **TABLEAU 4** Composés saisis dans l'outil MiXie suite à des mesures effectuées sur un agent dépotant un conteneur de pneus.



← **FIGURE 3** Concentrations mesurées en ambiance intérieure et sur salariés dans un même entrepôt de stockage de pneus : exemple du MIBK et des COV totaux.

TABEAU 5 →
Extrait
des résultats
de l'analyse
MiXie relative
à l'exposition
d'un agent
dépotant
un conteneur
de pneus.

	ADDITIVITÉ DES EFFETS	IMPACT DES COMPOSÉS EN %					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
Effets cancérigènes et/ou mutagènes	N.A	5		21	1	3	1
Sensibilisants	N.A			21		3	
Atteintes sur le développement du fœtus, de l'embryon	N.A				1		
Atteintes oculaires	32	5	2	21	1	3	1
Perturbation du transport de l'oxygène	21			21			
Atteintes des voies respiratoires supérieures	10	5	2		1	3	
Atteintes rénales et de l'appareil urinaire	7	5	2				
Atteintes hépatiques	7	5	2				
Atteintes cutanées	5				1	3	1

collective privilégié. Cependant, rares sont les plateformes logistiques qui présentent un système de ventilation mécanique. Ces entreprises sont la plupart du temps locataires des bâtiments, ce qui complique la modification des locaux quand elle est nécessaire. La taille des locaux et les volumes à traiter par ventilation mécanique rendent cette action particulièrement complexe et énergivore.

BIBLIOGRAPHIE

[1] INSEE (SOURCE ESANE) – *Élaboration des statistiques annuelles d'entreprises – secteur d'activité des commerces de détails – Chiffres de 2024*. Accessible sur : <https://www.insee.fr> (Consulté en mars 2026).

[2] INRS – Les polyexpositions chimiques : commerces et entrepôts de stockage : une pollution variable selon les produits. *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 261, pp 67-71. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refinrs=do%2031>

[3] ROBERT L., GUICHARD R., KLINGLER J. ET AL. – Indoor air quality in shopping and storage areas. *Indoor air*, 2020. Accessible sur : <http://dx.doi.org/10.1111/ina.12783>

[4] NORME NF EN ISO 16000-3 – Air intérieur. Partie 3 : dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonylés dans l'air intérieur et dans l'air des chambres d'essai – Méthode par échantillonnage actif. Afnor, 2022. Accessible sur : www.afnor.org (Site payant).

[5] NORME NF EN ISO 16017-1 – Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail. Échantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographie en phase gazeuse sur capillaire. Partie 1 : Échantillonnage par pompage. Afnor, 2021. Accessible sur : www.afnor.org (Site payant).

[6] INRS – Base de données : substances CMR. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/substancescmr/>

[7] GUICHARD R., ROBERT L., KLINGLER J. – Emission rates of stored tires: effects of the indoor environment and scale changes from a ventilated chamber to a logistics warehouse. In: *Proceedings of the RoomVent conference* (disponible en décembre 2026).

[8] INRS – Ouvrir et dépoter un conteneur en sécurité. ED 6249. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206249>

[9] INRS – Dépoter un conteneur. Comment éliminer les résidus de fumigation. ED 6421. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206421>

[10] INRS – Dépoter un conteneur. Les 4 étapes pour intervenir en sécurité. ED 6194. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206194>

[11] INRS – MiXie : un logiciel pour évaluer les multiexpositions aux substances chimiques. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil45>

Concernant la ventilation naturelle, des mesures dans différentes cellules d'un même entrepôt ont montré que les zones proches des quais de chargement, où les portes sont régulièrement ouvertes sur l'extérieur et où les produits sont stockés en moins grande densité, présentaient toujours des niveaux de pollution bien moindres qu'au cœur de l'entrepôt. L'aération par les portes de quais peut donc améliorer la QAI et ne doit pas être négligée. L'optimisation de la conception et de l'organisation des zones de stockage est également une piste pour réduire l'exposition des travailleurs :

- des cellules de stockage ayant des portes de quais en vis-à-vis favorisant un balayage des locaux par de l'air neuf ;
- la création d'ouvertures en toiture pour contribuer également à l'aération naturelle ;
- la réorganisation des espaces de stockages en plaçant préférentiellement les produits les plus émissifs en hauteur dans la mesure du possible, dans le but d'obtenir un gradient vertical de la concentration en polluants, réduisant ainsi les émissions à la hauteur des voies respiratoires des salariés.

Dans le cas spécifique du dépotage, considérer systématiquement les conteneurs comme des locaux à pollution spécifique permettrait que les salariés soient formés au risque chimique et bénéficient d'un suivi médical adéquat. De plus, des mesures spécifiques de prévention collectives et individuelles seraient mises en œuvre pour prévenir les risques encourus. Par exemple, l'exposition aux polluants chimiques de ces opérateurs pourrait être réduite par une ventilation systématique des conteneurs, des études et publications de l'INRS démontrant l'efficacité d'une ventilation adaptée, avant et pendant la tâche de dépotage, sur la réduction de la concentration en polluants à l'intérieur des conteneurs [8-10]. ●

1. L'émission est surfacique et non massique. La surface est estimée en prenant en compte la géométrie d'un échantillon (¼ de tore aplati creux) mais elle ne prend pas en compte le motif du pneu.

Participez à la recherche



Risques chimiques

→ Évaluation des effets respiratoires et cardiovasculaires de l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines métalliques en fabrication additive

Votre entreprise...

- a une activité de fabrication additive métallique ;
- appartient aux secteurs aéronautique (construction, équipements), automobile (construction, équipements), médical...

L'INRS a besoin de vous pour participer à une étude épidémiologique qui évalue les effets respiratoires et cardiovasculaires de l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines (PUF) métalliques en fabrication additive.

> Quels sont les objectifs de cette étude ?

L'objectif de cette étude est d'évaluer, chez des travailleurs en entreprise, l'impact sur l'organisme de l'exposition professionnelle aux PUF métalliques contenues dans les aérosols générés ou émis lors de la fabrication additive métallique.

Il s'agira plus particulièrement :

- d'évaluer l'exposition des travailleurs aux PUF métalliques par métrologie et biométrie ;
- de renseigner les effets aux niveaux respiratoire, cardiovasculaire et systémique par des biomarqueurs d'effets précoces ;
- et d'étudier l'association entre exposition professionnelle et effets sur l'organisme.

> Comment se déroulera l'étude ?

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

Les salarié(e)s volontaires répondront à un questionnaire sur leurs activités professionnelles, leurs symptômes respiratoires et cutanés et leur mode de vie. Des recueils d'urine et de l'air expiré seront effectués, ainsi qu'un

prélèvement unique de sang et de cellules buccales (cellules de l'intérieur de la joue par une brosse dentaire). Ces salarié(e)s volontaires seront équipé(e)s d'appareils de mesures atmosphériques individuels au cours des trois jours.

Les résultats des prélèvements atmosphériques seront restitués à chaque entreprise, les résultats des prélèvements individuels seront envoyés aux salariés volontaires et au médecin de leur choix.

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

Les noms des entreprises et des participants volontaires sont strictement confidentiels.



Vous souhaitez participer ?

Contactez Valérie Demange : 03 83 50 98 05
valerie.demange@inrs.fr

ou Harielle Samba : 03 83 50 20 17
harielle.samba@inrs.fr

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

Notes techniques

PASSAGE DE PERSONNES DEVANT UNE SORBONNE DE LABORATOIRE: QUEL IMPACT SUR SON EFFICACITÉ ?

Les sorbonnes de laboratoire sont des dispositifs essentiels de protection collective, dont l'efficacité peut être altérée par des courants d'air en conditions réelles d'utilisation. Cet article présente une étude numérique visant à mieux comprendre l'impact de ces perturbations et à proposer des recommandations pour améliorer le confinement et réduire l'exposition des salariés.

SULLIVAN
LECHÊNE,
EMMANUEL
BELUT
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Contexte

Les sorbonnes sont des dispositifs de protection collective utilisés couramment pour contenir des gaz ou des aérosols polluants émis par un procédé. Le processus de confinement consiste à envelopper le plus possible la zone d'émission du polluant par des parois, tout en laissant une ouverture pour permettre les manipulations par un opérateur. La hauteur de cette ouverture est réglable par l'opérateur, généralement à l'aide d'une paroi mobile appelée « guillotine ». Pour prévenir le risque de sortie de polluant, le dispositif est maintenu en dépression grâce à un ventilateur d'extraction raccordé à la sorbonne par un conduit. Ce fonctionnement assure également un écoulement d'air permanent depuis l'extérieur (le laboratoire) vers l'intérieur du dispositif : il s'agit d'un confinement immatériel ou dynamique.

Ce mode de confinement est très efficace à condition que la stabilité de la vitesse d'air entrante soit assurée. En pratique, cet écoulement d'air peut être fortement déstabilisé s'il existe des perturbations aérauliques à proximité de la sorbonne, telles que celles induites par les sillages aérodynamiques d'objets mobiles. Tout déplacement d'air peut ainsi engendrer une perte d'efficacité temporaire d'un système, qui est par ailleurs efficace en l'absence de perturbations. L'INRS préconise d'apporter un soin particulier à l'implantation des systèmes de ventilation pour réduire autant que possible l'impact de ces courants d'air [1,2]. Suivant l'intensité des perturbations, le confinement est susceptible d'être rompu, engendrant des fuites de gaz ou d'aérosols polluants vers l'extérieur de la

sorbonne et exposant ainsi les opérateurs à des produits potentiellement dangereux pour la santé. L'optimisation de ces dispositifs par la prise en compte des effets transitoires des courants d'air perturbateurs est alors essentielle pour garantir la santé et la sécurité des opérateurs. Toutefois, l'effet précis de ces perturbations fugitives est difficile à prévoir et peu de données existent sur leur impact à l'échelle réelle, ni sur les paramètres favorisant la robustesse d'une sorbonne à de telles perturbations [3].

Des travaux de recherche menés à l'INRS ont permis de mettre au point et de valider une méthode de simulation numérique capable de prédire les effets d'une rupture transitoire de confinement d'une sorbonne induite par le déplacement d'un obstacle mobile devant cette enceinte [4]. L'intérêt de mettre au point une telle méthodologie est de pouvoir réaliser des études paramétriques par simulation numérique plutôt qu'expérimentalement. Cette méthode numérique a ainsi été utilisée pour évaluer l'impact de certains paramètres clés (présence d'un opérateur, distance obstacle mobile/ouverture de l'enceinte, vitesse frontale, largeur de la sorbonne et fréquence de passage de l'obstacle) sur l'efficacité de confinement des sorbonnes de laboratoire lorsque la guillotine est ouverte pour réaliser des manipulations. En effet, même s'il est recommandé de travailler avec la guillotine fermée au maximum, cette situation est fréquente et représente la configuration la plus exposante. Les résultats de l'étude paramétrique permettent de définir des préconisations d'installation et d'utilisation permettant

RÉSUMÉ

Le passage de personnes à proximité d'une sorbonne de laboratoire crée des courants d'air pouvant dégrader sa capacité à confiner des polluants. Pour évaluer l'impact de certains paramètres influents (présence d'un opérateur, distance obstacle mobile/ouverture de l'enceinte,

vitesse frontale, largeur de la sorbonne et fréquence de passage de l'obstacle) dans cette situation dégradée, une étude paramétrique numérique a été menée en considérant plusieurs configurations représentatives de l'utilisation de sorbonnes en conditions réelles.

Les résultats ont confirmé l'existence de perturbations et de formuler des préconisations d'installation et d'utilisation des sorbonnes de laboratoire permettant de limiter les ruptures de confinement et de réduire l'exposition des salariés.

PEOPLE WALKING PAST A LABORATORY FUME HOOD: WHAT IMPACT ON ITS PERFORMANCE?

When people walk near a laboratory fume hood, it creates air currents that can reduce its ability to contain pollutants. To assess the impact of certain influencing parameters (presence of an operator, distance between the moving obstacle and the fume

hood opening, frontal velocity, fume hood width, and frequency of the obstacle's passage) in this degraded situation, a numerical parametric study was conducted, considering several configurations representative of fume hood use under real-work conditions.

The results confirmed the existence of disturbances and led to the formulation of recommendations for the installation and use of laboratory fume hoods to limit containment failures and reduce employee exposure.

de limiter les ruptures de confinement aérodynamiques et l'exposition des salariés dans cette situation.

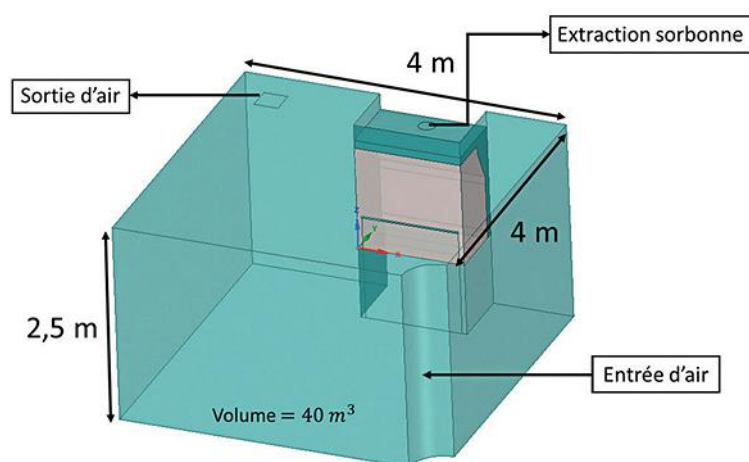
Perturbation aéraulique d'intérêt

La littérature scientifique recense les principaux facteurs pouvant affecter les performances des sorbonnes et ainsi augmenter l'exposition des salariés [3]. Ces facteurs peuvent être liés à la conception de l'enceinte, à son implantation (position de la sorbonne par rapport aux murs, aux portes et à d'autres sorbonnes), à la ventilation du local (position des bouches de ventilation et vitesses d'air engendrées, débit de compensation d'air, ouverture de portes, interactions avec d'autres enceintes ventilées), ou aux pratiques opérationnelles (présence et mouvements d'un opérateur, hauteur et mouvements de guillotine). Une analyse statistique des données aérauliques des enceintes ventilées du parc INRS (198 sorbonnes, hottes ou postes de pesée), collectées lors des réceptions et contrôles périodiques de ces enceintes selon la norme EN 14175-4 [5], est venue formaliser certaines caractéristiques les plus courantes des enceintes de laboratoire (dimensions, vitesses frontales et d'ambiance). Pour compléter les travaux issus de la littérature, des observations réalisées sur site ont permis d'identifier les événements à l'origine des courants d'air. Les perturbations observées étaient : le passage d'une personne devant une sorbonne,

l'arrivée d'un opérateur devant une sorbonne, le départ d'un opérateur d'une sorbonne, le mouvement de la guillotine, l'ouverture/fermeture d'une porte, ou la présence de plusieurs opérateurs devant une sorbonne. En fonction de la nature de l'activité, la fréquence d'occurrence peut être élevée. Les observations effectuées sur site montrent une fréquence d'occurrence très élevée pour l'ensemble des perturbations et un intervalle de temps entre deux perturbations très inférieur au temps nécessaire pour atteindre un régime aéraulique statistiquement stationnaire. Ceci indique que les phénomènes transitoires des perturbations sont dominants, ce qui exclut l'existence en pratique d'un régime de confinement stationnaire des sorbonnes. Par ailleurs, une hiérarchie de la fréquence des perturbations a été mise en évidence, avec le passage de personnes devant la sorbonne comme perturbation la plus fréquente (en moyenne, un passage toutes les deux minutes devant une sorbonne pour le laboratoire étudié). Enfin, des observations sur site industriel ont également permis de recenser des informations complémentaires, en particulier le ressenti des opérateurs sur la présence et l'effet des courants d'air : la plupart des opérateurs ignorent ces courants d'air, et ils ne leur attribuent pas ou peu d'impact sur la qualité de l'air.

Sur la base de ces études préalables, la perturbation aéraulique d'intérêt retenue a été le passage d'une personne devant une sorbonne.





↑ FIGURE 1
Modèle numérique
du local contenant
la sorbonne.

Méthodologie numérique

Cette étude paramétrique se base sur une méthode de simulation numérique des écoulements validée expérimentalement en laboratoire [4].

Le modèle numérique est présenté sur la Figure 1. Cette configuration considère un local ventilé de dimensions 4 m × 4 m × 2,5 m (longueur, largeur, hauteur), soit un volume de 40 m³, représentatif d'un laboratoire à l'échelle réelle. Une sorbonne de largeur 1,2 m est placée le long d'une paroi et extrait un débit de 690 m³.h⁻¹, ce qui permet d'obtenir une vitesse d'air frontale moyenne de 0,4 m.s⁻¹ (vitesse d'air au niveau de la surface ouverte de la sorbonne) égale au seuil normatif français [6]. La hauteur d'ouverture de la guillotine est fixée à 40 cm (hauteur

maximale standard). Une entrée d'air sur la paroi opposée compense le débit d'air extrait avec un débit soufflé fixé à 1 080 m³.h⁻¹ pour toutes les configurations d'étude de manière à conserver un taux de renouvellement constant. Une extraction d'air additionnelle, positionnée au niveau du plafond du local, permet d'équilibrer la balance des débits (somme des débits d'air entrants égale à la somme des débits d'air sortants). Un gaz traceur de l'écoulement est diffusé par la surface du plan de travail à l'intérieur de la sorbonne pour simuler l'émission continue d'un polluant. La vitesse d'éjection du gaz traceur est constante pour toutes les configurations et fixée de manière à ne pas perturber les écoulements au niveau de la surface ouverte de la sorbonne.

Un obstacle mobile, de dimensions représentatives d'un humain, est placé devant la sorbonne. La perturbation aéroulque consiste à déplacer l'obstacle mobile parallèlement à la sorbonne à une distance minimum de 40 cm de sa surface ouverte (distance normative [7]), avec une vitesse maximale de 1 m.s⁻¹ (vitesse de marche standard d'une personne).

Le déroulement des simulations numériques est le suivant : une première simulation stationnaire permet d'obtenir le régime établi des écoulements à l'intérieur de la pièce (soufflage, extractions d'air et injection de gaz traceur en fonctionnement). Dans cette situation initiale, sans perturbation, le gaz traceur émis à l'intérieur de la sorbonne est entièrement capté (Cf. Figure 2). À partir de cette condition initiale, des simulations du déplacement

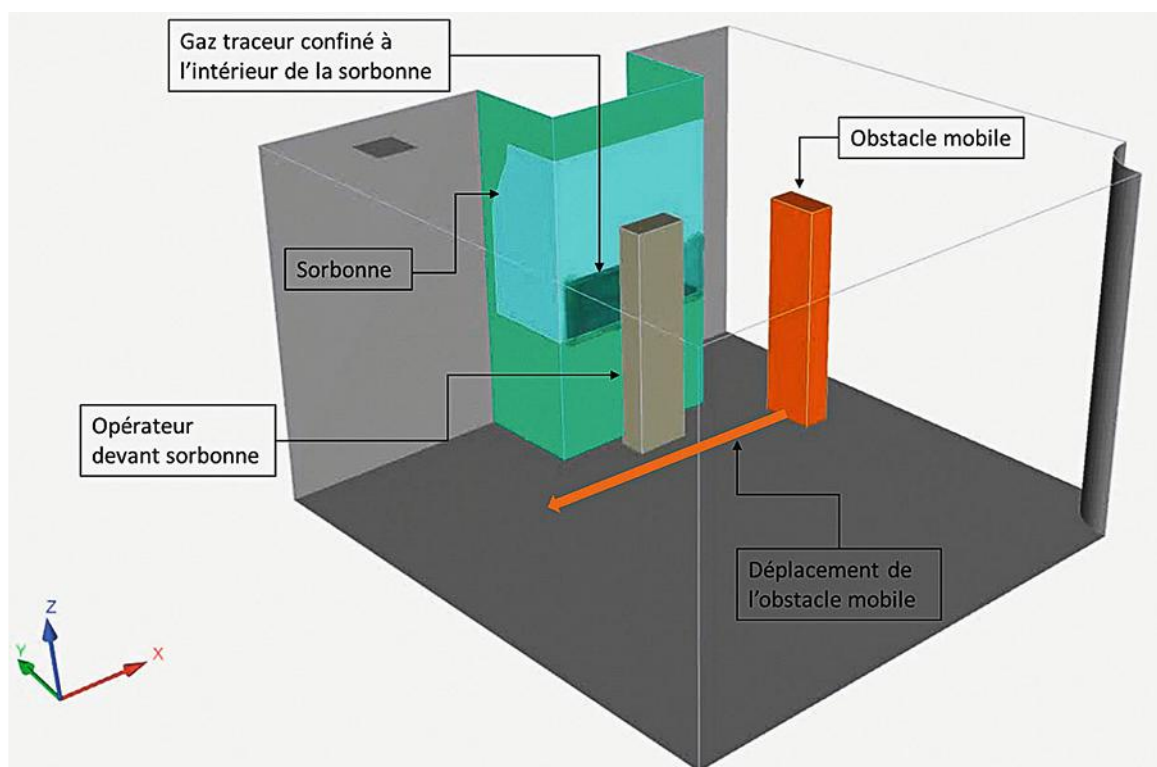


FIGURE 2 →
Situation initiale
de la configuration
de référence avant
déplacement de
l'obstacle mobile.

CONFIGURATION	OPÉRATEUR DEVANT SORBONNE	DISTANCE OBSTACLE MOBILE / OUVERTURE	VITESSE FRONTALE	LARGEUR SORBONNE	FRÉQUENCE DE PASSAGE
0	Non	40 cm	0,2 m/s	1,2 m	1 passage
1	Non	40 cm	0,4 m/s	1,2 m	1 passage
2 (référence)	Oui	40 cm	0,4 m/s	1,2 m	1 passage
3	Oui	1 m	0,4 m/s	1,2 m	1 passage
4	Oui	40 cm	0,2 m/s	1,2 m	1 passage
5	Oui	1 m	0,2 m/s	1,2 m	1 passage
6	Oui	40 cm	0,4 m/s	1,8 m	1 passage
7	Oui	40 cm	0,4 m/s	1,2 m	2 passages espacés de 30 secondes (> retour équilibre)
8	Oui	40 cm	0,4 m/s	1,2 m	2 passages espacés de 5 secondes (< retour équilibre)

de l'obstacle mobile devant la sorbonne ouverte, représentant le passage d'une personne, sont effectuées. Le sillage de l'obstacle perturbe alors l'écoulement initial établi, occasionnant une modification des performances nominales de la sorbonne (fuites de gaz traceur dans la pièce).

Description des configurations étudiées

Neuf configurations ont été étudiées (Cf. *Tableau 1*) et se différencient par les paramètres d'étude suivants : présence ou absence d'un opérateur positionné devant la sorbonne ouverte, distance entre l'obstacle mobile et l'ouverture (40 cm ou 1 m), vitesse d'air frontale (0,4 m.s⁻¹ ou 0,2 m.s⁻¹), largeur de la sorbonne (1,2 m ou 1,8 m) et fréquence de passage de l'obstacle mobile (un passage, deux passages espacés de 30 secondes ou deux passages espacés de 5 secondes). Les paramètres notés en rouge dans le *Tableau 1* mettent en évidence les différences par rapport à la configuration de référence. Certaines des configurations étudiées impliquent une modification des débits d'air extraits de la sorbonne : les configurations 0, 4 et 5 quand la vitesse frontale est réduite à 0,2 m.s⁻¹ (débit extrait égal à 390 m³.h⁻¹) et la configuration 6 quand la largeur de la sorbonne est fixée à 1,8 m. Pour ces cas d'étude, le débit d'air de l'extraction additionnelle est ajusté pour conserver un taux de renouvellement constant dans la pièce.

Résultats principaux

Exemple d'évolution des champs de vitesse et de gaz traceur pour la configuration de référence

La *Figure 3* présente un exemple des champs de vitesse et de facteur de protection (rapport entre la concentration moyenne du gaz traceur généré à l'intérieur de la sorbonne et sa concentration mesurée à l'extérieur de la sorbonne) obtenus pour la configuration de référence suite au passage de l'obstacle mobile devant la sorbonne. Les champs ont été représentés à deux instants différents :

1 seconde et 4 secondes après le départ de l'obstacle mobile, correspondant respectivement à un instant durant la course de l'obstacle et à un instant après arrêt de l'obstacle. Les zones matérialisées en vert correspondent à un facteur de protection inférieur à 1 million (atténuation inférieure à un facteur 1 million par rapport à la concentration à l'intérieur de la sorbonne), tandis que les autres zones dépassent ce seuil.

Le mouvement de l'obstacle mobile engendre par son sillage une forte perturbation du régime d'écoulement initialement établi. Immédiatement après le passage de l'obstacle, des recirculations d'air apparaissent au niveau de la surface ouverte de la sorbonne avec des vitesses d'une amplitude voisine de la vitesse débitante dans l'ouverture. Le caractère quasi-unidirectionnel de la vitesse au niveau de la surface ouverte, imposé par le fonctionnement de la sorbonne en régime non perturbé, est largement déstabilisé et une inversion totale du sens des vitesses peut être observée localement. Cette inversion caractérise la rupture du confinement avec des bouffées de gaz traceur s'échappant hors de la sorbonne (Cf. *Figure 3*). L'arrêt de l'obstacle mobile ne signifie pas un retour immédiat au régime permanent avec un confinement total des polluants. La quantité de traceur hors de l'enceinte est plus conséquente, notamment au niveau de l'opérateur qui se retrouve alors directement exposé (Cf. *Figure 3*).

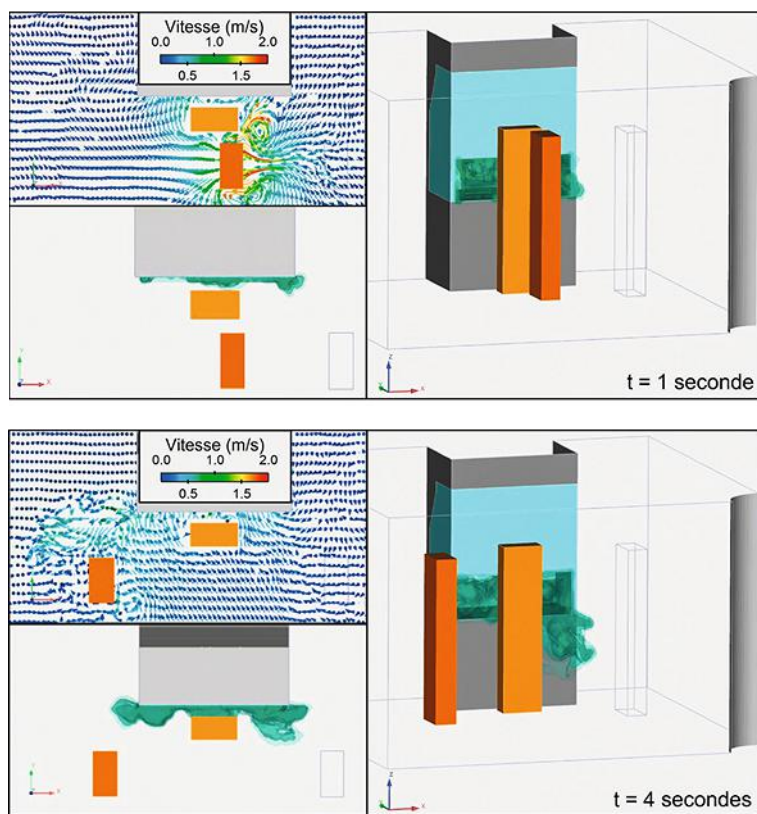
Analyse globale des résultats de l'étude paramétrique

→ Points sur les grandeurs analysées

Les perturbations suite au passage de l'obstacle mobile vont engendrer deux effets sur la rupture de confinement et sur l'exposition des opérateurs. Le premier est un effet instantané (court terme) qui peut se résorber par réaspiration du polluant par la sorbonne. En cas de fuite avérée, l'opérateur travaillant sur la sorbonne est le principal salarié

↑ **TABLEAU 1**
Les neuf configurations étudiées selon différents paramètres.





↑ FIGURE 3
Évolution des champs de vitesses d'air et des fuites de traceur hors de la sorbonne suite au passage de l'obstacle mobile.
En haut : 1 seconde après le départ de l'obstacle mobile.
En bas : 4 secondes après le départ de l'obstacle mobile. Les zones matérialisées en vert correspondent à un facteur de protection inférieur à 1 million.

exposé. Cet effet est mis en évidence en analysant, d'une part, le débit de polluant en fonction du temps au travers de la surface ouverte et, d'autre part, la quantité maximale de polluant dans la pièce pendant toute la durée de l'événement.

Le deuxième effet est un effet au temps long lorsque les fuites temporaires (bouffées) de polluant ne sont pas réaspirées immédiatement. Dans cette situation, les autres opérateurs travaillant dans le laboratoire vont être exposés aux polluants, en plus de l'opérateur travaillant sur la sorbonne. Cet effet est mis en évidence en analysant la quantité de polluant résiduelle dans la pièce après la perturbation (quand le confinement a repris son régime non perturbé) et avant élimination de cette pollution résiduelle par la ventilation générale.

L'objectif est de montrer l'effet relatif des différents déterminants de l'exposition sélectionnés : vitesse d'air frontale de la sorbonne, présence d'un opérateur, largeur de la sorbonne, distance de passage de l'obstacle. Les grandeurs sont exprimées relativement au cas de la situation de référence «représentative», qui est la configuration 2 (Cf. Tableau 1). Les caractéristiques de cette configuration sont rappelées : vitesse frontale de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$; sorbonne de largeur $1,2 \text{ m}$; guillotine ouverte à une hauteur de 40 cm ; présence d'un opérateur et passage de l'objet mobile à 40 cm de l'ouverture de la sorbonne. Les données sont présentées pour un même débit source de polluant quelles que soient les

configurations (déterminant non considéré dans le cadre de cette étude).

→ Effet instantané de la perturbation

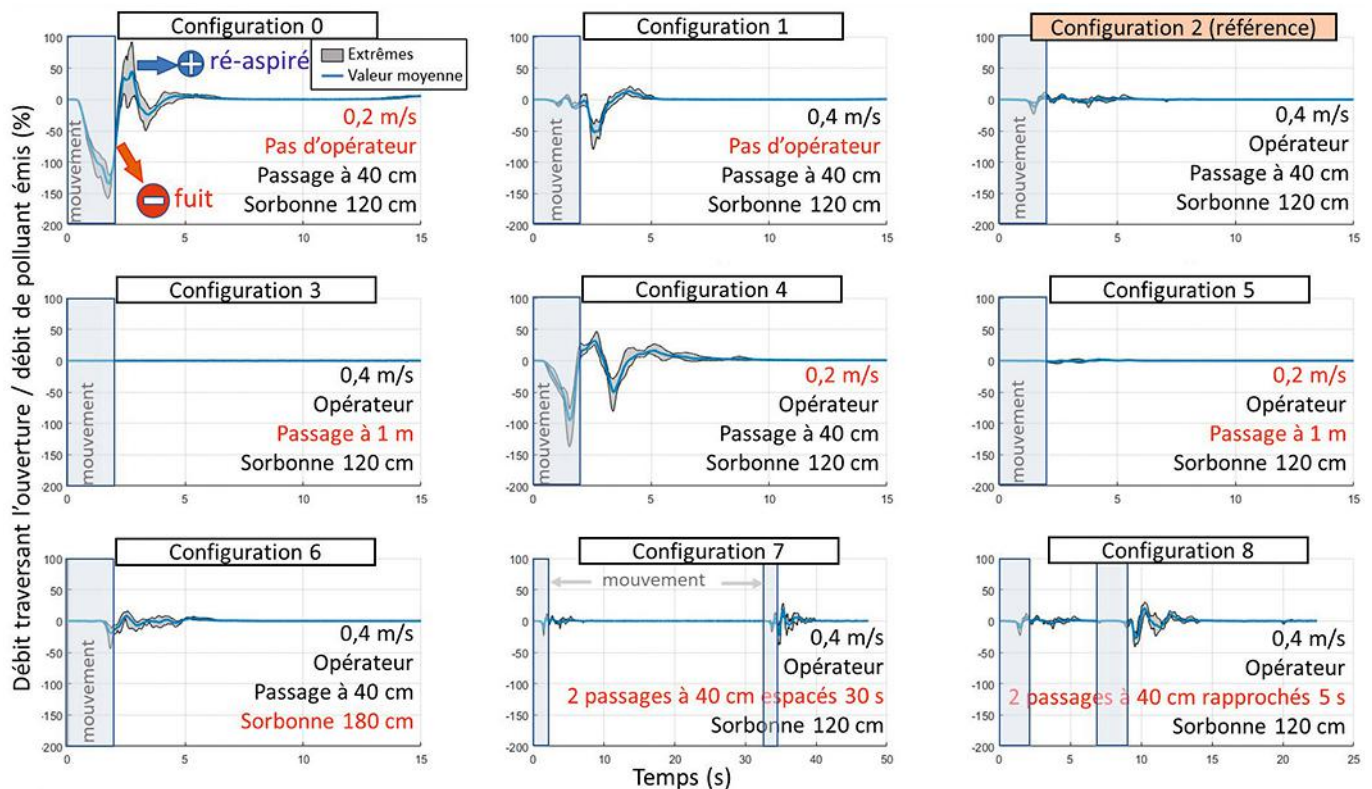
Le débit de polluant en fonction du temps au travers de la surface ouverte est présenté sur la Figure 4 pour toutes les configurations étudiées. Ce débit est exprimé relativement au débit de polluant émis dans la sorbonne (en %). Une valeur positive indique que le gaz traceur est aspiré par la sorbonne tandis qu'une valeur négative indique une fuite du gaz de la sorbonne. Les moyennes sont réalisées sur cinq simulations de la même configuration mais avec des états initiaux différents de la turbulence de l'air dans le local. Les zones grises représentent les maxima et minima obtenus sur ces cinq simulations alors que les courbes bleues indiquent la moyenne de phase.

Le passage de l'obstacle mobile entraîne des fuites de polluant pour la majorité des configurations (valeurs négatives sur les courbes). Cette bouffée sortante est immédiatement suivie d'une ré-aspiration partielle du polluant fuyard par la sorbonne (valeurs positives sur les courbes). Sur certaines configurations, de nouvelles bouffées de gaz sortant sont observées après la phase de réaspiration. Pour l'ensemble des configurations, le retour du confinement des polluants à l'intérieur de la sorbonne est rapide et s'établit après une durée inférieure à 5 secondes après un passage de l'obstacle mobile.

Pour un passage rapproché (40 cm), une vitesse d'aspiration faible au niveau de la surface ouverte (sorbonne basse vitesse à $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ au lieu de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$) a un effet délétère sur le confinement des polluants, qu'il y ait un opérateur présent devant la sorbonne (configurations 2 et 4) ou non (configurations 0 et 1). Dans ces conditions et suite à des effets d'accumulation du polluant dans la sorbonne, le débit de fuite peut atteindre jusqu'à deux fois le débit de polluant émis dans le cas d'utilisation d'une sorbonne basse vitesse. L'utilisation de sorbottes dites «basse vitesse» est donc à proscrire pour réduire fortement les ruptures du confinement.

L'éloignement de la zone de passage (1 m contre 40 cm) a un effet très positif (configurations 2 et 3), même lorsque la vitesse d'aspiration est faible (configurations 4 et 5). À cette distance, le sillage de l'objet en mouvement n'a pas ou a peu d'impact sur le confinement des polluants, indiquant qu'une distance de passage égale à 1 m est un critère permettant de limiter fortement les ruptures du confinement.

La présence d'un opérateur devant la sorbonne engendre un effet très positif sur l'efficacité de la sorbonne en limitant la déstabilisation des flux d'air (configurations 1 et 2 pour une vitesse de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ au niveau de la surface ouverte). Sans opérateur,



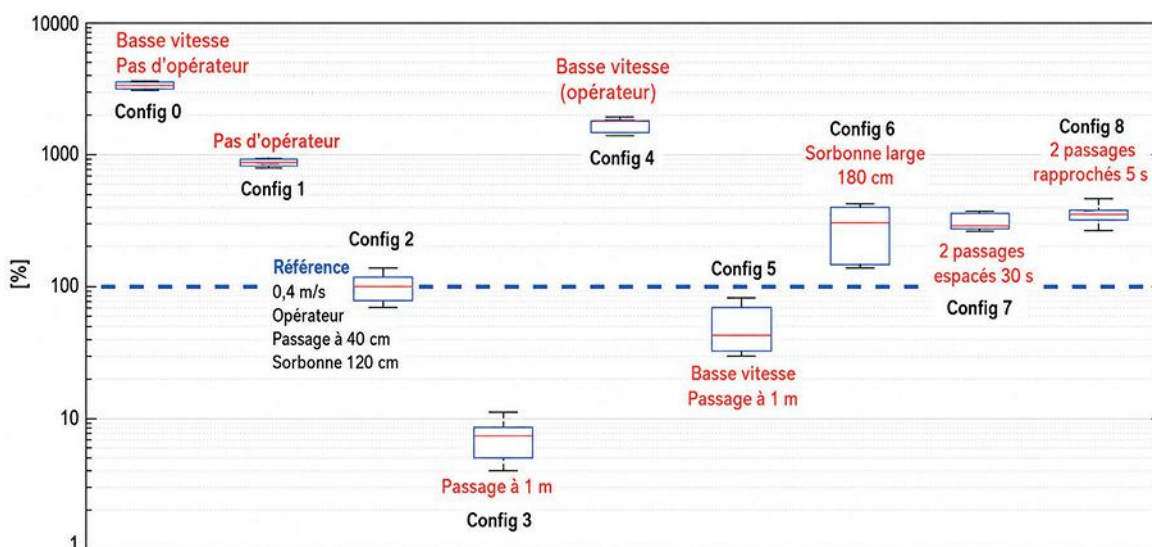
↑ FIGURE 4
Débit de polluant
en fonction du
temps au travers
de la surface
ouverte.

les fuites de polluant hors de la sorbonne sont donc plus importantes, confirmant la préconisation d'utilisation indiquant de fermer au maximum la guillotine des sorbottes non utilisées. L'effet de la présence d'un opérateur est moindre pour les sorbottes de plus grande largeur qui seront plus sensibles aux perturbations (configurations 2 et 6 pour des sorbottes avec des largeurs respectives de 1,2 m et 1,8 m).

En cas de double passage de l'obstacle devant la sorbonne, le deuxième passage occasionne une plus grande déstabilisation du confinement avec un

débit de fuite supérieur. Cet effet est plus prononcé pour des passages rapprochés dans le temps avec un intervalle inférieur au temps de retour à l'équilibre du confinement.

La quantité maximale de polluant dans la pièce durant l'événement est représentée sur la Figure 5 relativement à la configuration de référence (valeurs données en %). La configuration de référence est donc en moyenne à 100%. Les données sont représentées sous forme de boîtes à moustaches représentant la variation des résultats liée aux mouvements turbulents de l'air dans la pièce.



← FIGURE 5
Quantité maximale
de polluant dans
la pièce pendant
l'événement
relativement à
la configuration de
référence (config 2,
ligne pointillée
bleue).
Représentation
sous forme
de boîtes
à moustaches :
la ligne rouge
représente
la moyenne
des valeurs,
le rectangle
comprend 50%
des valeurs,
et les extrémités
correspondent
aux 25% des
valeurs les plus
et les moins
élevées.

Les conclusions précédentes sont confirmées et il est possible de calculer des facteurs d'accroissement ou de diminution du risque dus aux différents déterminants par rapport à une situation donnée. Par exemple, le passage d'une personne à 1 m de la sorbonne diminue le risque d'un facteur supérieur à 10 comparativement à un passage à 0,4 m (configurations 2 et 3). Pour ce qui est de la vitesse frontale, une diminution de 0,4 m.s⁻¹ à 0,2 m.s⁻¹ engendre un accroissement du risque d'un facteur d'environ 20. Une hiérarchie de l'impact des déterminants de l'exposition étudiés peut ainsi être établie du plus au moins impactant : distance de passage – vitesse frontale – présence d'un opérateur – largeur de sorbonne – fréquence de passage.

↓ FIGURE 6
Quantité résiduelle de polluant dans la pièce après l'événement relativement à la configuration de référence (configuration 2, ligne pointillée bleue). Représentation sous forme de boîtes à moustaches : la ligne rouge représente la moyenne des valeurs, le rectangle comprend 50 % des valeurs, et les extrémités correspondent aux 25 % des valeurs les plus et moins élevées.

→ Effet au temps long de la perturbation

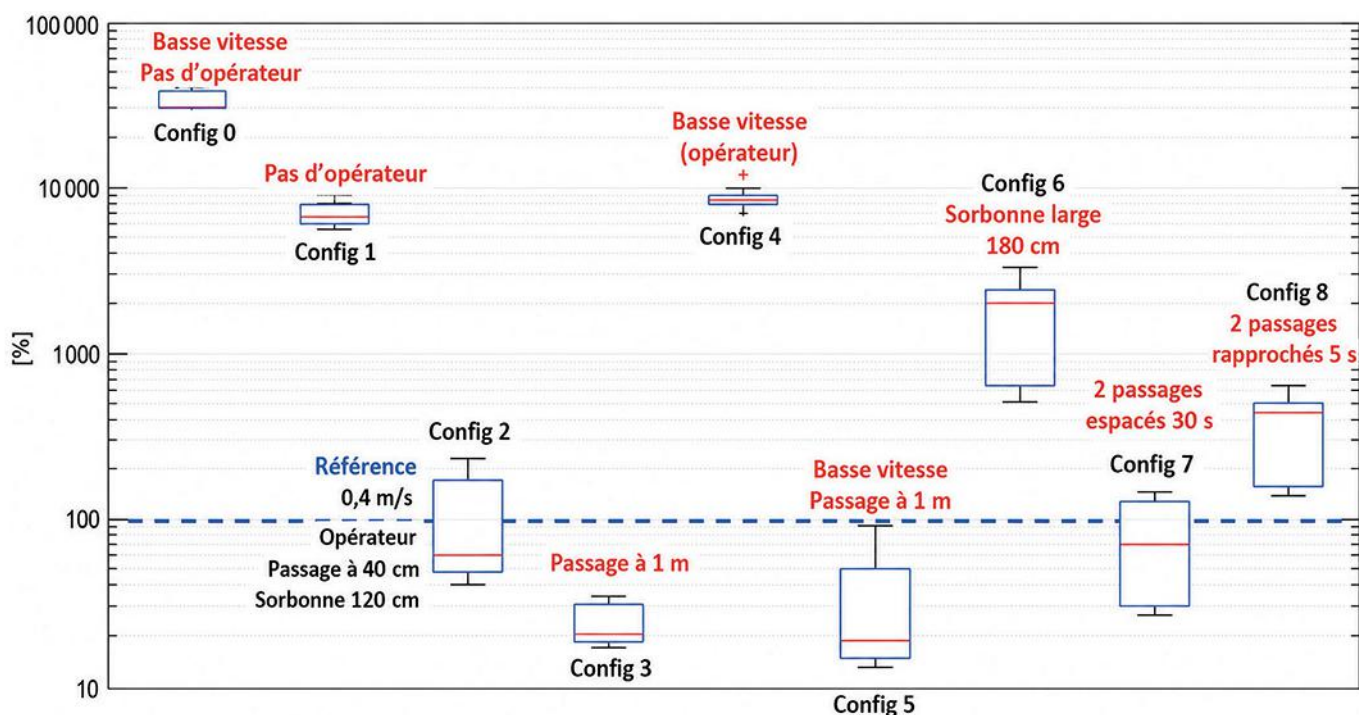
En cas de bouffées de polluant hors de la sorbonne, une partie de cette pollution peut ne pas être réaspirée par la sorbonne et se propager dans le laboratoire. Les personnes travaillant au sein du local peuvent donc être exposées. La quantité résiduelle de polluant dans la pièce après l'événement perturbateur est représentée sur la Figure 6 pour chaque configuration relativement à la configuration de référence. Comme pour le critère d'exposition à court terme, il est possible de calculer des facteurs d'accroissement ou de diminution du risque dus aux différents déterminants par rapport à une situation donnée. De même, la hiérarchie de l'impact des déterminants de l'exposition étudiés est identique à celle du critère d'exposition à court terme : distance de

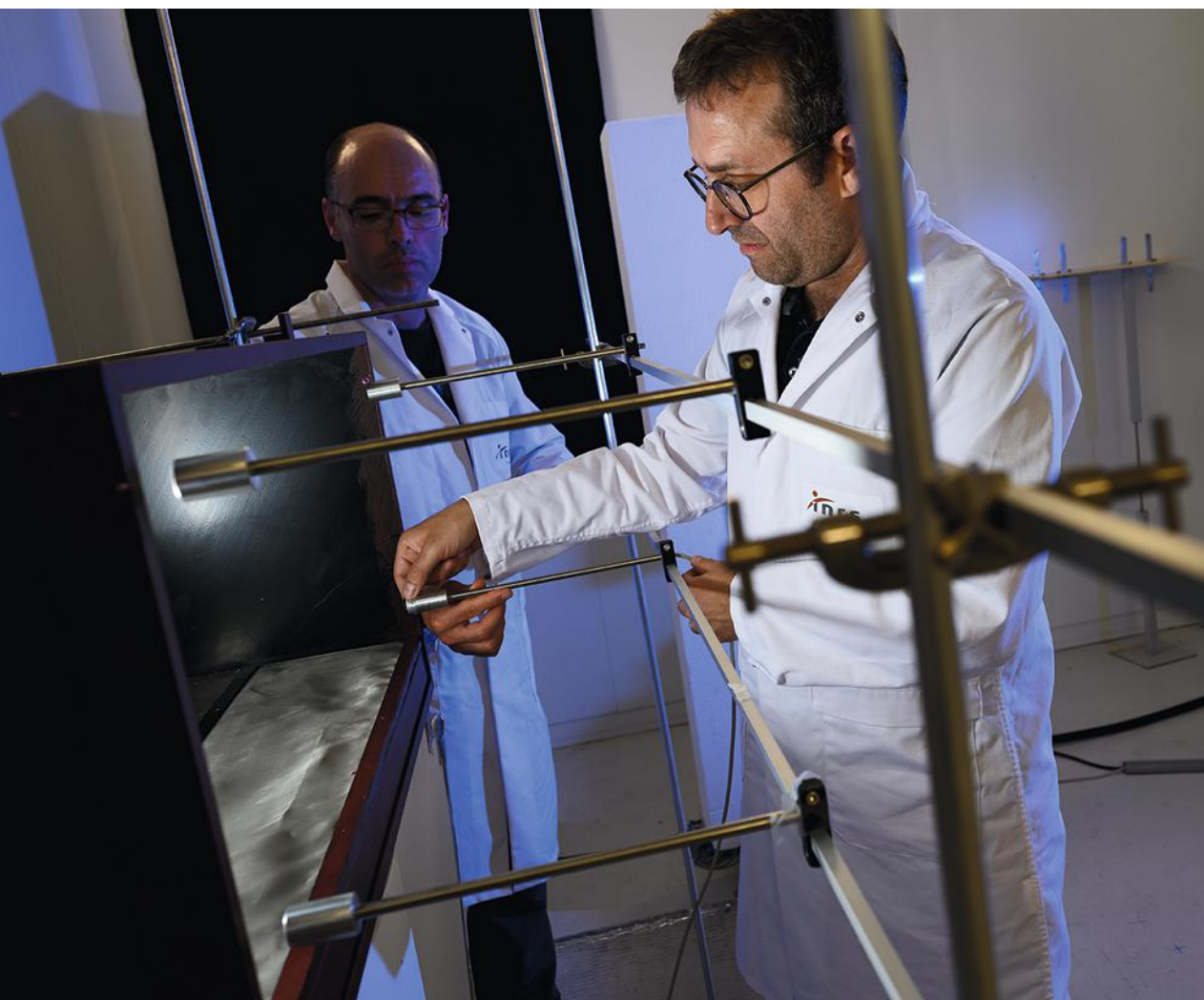
passage – vitesse frontale – présence d'un opérateur – largeur de sorbonne – fréquence de passage. Par rapport aux observations sur le critère d'exposition à court terme, on observe que la largeur de la sorbonne est un facteur plus pénalisant sur l'exposition à long terme que pour l'exposition à court terme. Globalement, le polluant est donc moins bien réaspiré lorsque la sorbonne est large. Par ailleurs, deux passages rapprochés engendrent une quantité résiduelle de pollution dans la pièce nettement supérieure (facteur supérieur à 5) à deux passages éloignés.

Conclusions

Une étude paramétrique numérique a été conduite afin d'évaluer l'impact de différents déterminants sur la capacité de confinement d'une sorbonne de laboratoire ouverte, lorsqu'une personne (ou un objet d'encombrement similaire) passe devant. Ces déterminants peuvent désormais être classés du plus au moins impactant : distance de passage – vitesse frontale – présence d'un opérateur – largeur de sorbonne – fréquence de passage. Cette classification permet de renseigner sur les actions à mener en priorité pour limiter l'impact de la perturbation sur le confinement des polluants. Dans ce sens, cette étude permet de définir ou de confirmer les recommandations suivantes pour l'utilisation et l'installation des sorbottes de laboratoire :

- placer les zones de passage à au moins 1 m des ouvertures des sorbottes ;
- proscrire l'utilisation des sorbottes basse vitesse ;





Étude de l'impact des perturbations aérodynamiques fugitives sur le confinement des enceintes ventilées.

© Gaël Kerbaol pour l'INRS/2023

- si aucun opérateur ne manipule sous la sorbonne, veiller à toujours baisser la guillotine à sa butée basse. En cas de manipulations sous la sorbonne, baisser la guillotine à la hauteur minimale possible ;
- privilégier les enceintes les moins larges possibles ;
- organiser les flux de personnes et l'agencement des locaux de sorte à limiter les fréquences de passages devant les sorbottes en cours d'utilisation.

Il est important de rappeler également que les performances aérodynamiques et de confinement des sorbottes de laboratoire doivent être systématiquement vérifiées lors de leur mise en service, puis contrôlées périodiquement conformément aux exigences réglementaires en vigueur. Ces contrôles visent à garantir l'efficacité de confinement des polluants et la protection des opérateurs. Le maintien de leur bon fonctionnement repose également sur la mise en œuvre d'une maintenance préventive et corrective régulière. ●

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **INRS** – *Principes généraux de ventilation*. ED 695, 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20695>
- [2] **INRS** – *Sorbottes de laboratoire : guide pratique de ventilation n° 18*. ED 795, 2009. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20795>
- [3] **AHN K. ET AL.** – A review of published quantitative experimental studies on factors affecting laboratory fume hood performance. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2008, 5 (11), pp. 735-753.
- [4] **BELUT E., LECHÊNE S. ET AL.** – Flow and contaminant transfer at the interface of an aerodynamic containment barrier subjected to the wake of a moving obstacle. *Building and environment*, 2023, 241, 110465.
- [5] **NORME NF EN 14175-4** – *Sorbottes. Partie 4 : méthodes d'essai sur site*. Afnor, 2005. Accessible sur : www.afnor.org (site payant).
- [6] **NORME NF X 15-206** – *Sorbottes de laboratoire. Seuils pour les essais de confinement et de vitesse*. Afnor, 2023. Accessible sur : www.afnor.org (site payant).
- [7] **NORME NF EN 14175-3** – *Sorbottes. Partie 3 : Méthodes d'essai de type*. Afnor, 2019. Accessible sur : www.afnor.org (site payant).

Étude de cas

ACCOMPAGNER LES USAGES DES LOGICIELS DE SOIN EN EHPAD

MARJORIE
PIERRETTE,
AUDE CUNY-
GUERRIER
INRS,
département
Sciences
appliquées au
travail et aux
organisations

→ **LA PROBLÉMATIQUE:** Les établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (Ehpad) s'équipent d'un logiciel de soin centralisant un ensemble d'informations relatives à la prise en charge des résidents. De nombreux éditeurs proposent des solutions logicielles pour les Ehpad, mais tous partagent les mêmes fonctionnalités. Ils sont découpés en grandes fonctions (administratif, soins, médical, alimentation, paramédical, intendance, etc.), au travers desquelles les usages s'inscrivent avec des spécificités par métier. Dans la partie soins, les aides-soignants (AS) et infirmiers diplômés d'État (IDE) mettent ainsi en œuvre, selon leurs responsabilités, le logiciel de façon à planifier les soins, assurer la traçabilité de leurs actes, alimenter les évaluations gériatriques et transmettre, plus globalement, les informations nécessaires au suivi de l'évolution du parcours de vie et de soins de chaque résident. Accessible sur ordinateur, ce type de logiciel est de plus en plus souvent utilisable en version mobile sur tablette, permettant une utilisation en « temps réel », c'est-à-dire directement au moment d'un soin ou d'une observation ou juste après sa réalisation, par opposition à une utilisation en « différé », à la suite d'un ensemble de soins ou d'une tournée de soins. Dans cet article, l'usage du logiciel de soin est entendu au sens large : il englobe à la fois ses fonctionnalités et les équipements, ordinateurs fixes et tablettes, permettant d'y accéder. Le déploiement vise à répondre à des enjeux accrus de coordination des parcours de vie et de santé des résidents. Des questions se posent cependant quant aux effets associés à leurs usages perçus par les soignants, notamment en matière d'intensité du travail, d'autonomie, de sens du travail et d'activité collective, autant de composantes psychosociales qui participent à la santé psychologique des soignants. En termes de prévention, il s'agit ainsi de savoir comment accompagner leur mise en œuvre sur les plans matériel et technologique, temporel et organisationnel afin qu'ils soient vecteurs de ressources psychosociales pour les soignants.

→ LA RÉPONSE DE L'INRS

L'INRS a réalisé une étude sur les usages de logiciels de soin par des soignants d'Ehpad privés. Cette étude s'est appuyée sur trois approches méthodologiques complémentaires associant la réalisation de 22 entretiens¹ auprès d'aides-soignants (AS), d'infirmiers (IDE) et d'infirmiers coordinateurs d'Ehpad privés, de 150 h d'observations des usages auprès de 13 soignants exerçant soit le jour soit la nuit dans deux Ehpad privés² et d'une enquête quantitative³ (147 questions) ayant reçu 436 réponses d'AS et IDE d'Ehpad privés. Les entretiens et observations effectués lors des deux premières parties

ENCADRÉ 1

QUATRE DIMENSIONS DU TRAVAIL ÉVALUÉES PAR QUESTIONNAIRES

L'intensité du travail a été évaluée au travers du sentiment que l'usage du logiciel facilite ou non l'accès aux informations pertinentes pour la réalisation du travail, limite ou non les efforts de mémorisation ainsi que le risque d'oubli, s'accompagne ou non d'une fragmentation de l'activité et d'une augmentation de la charge de travail. L'autonomie des répondants pour l'utiliser a été évaluée, ainsi que le sentiment de contrôle de l'activité pouvant être exercé *via* le logiciel. Les effets sur le sens du travail ont été évalués par l'utilité perçue et par le sentiment ou non de qualité empêchée. Enfin, a été évaluée la mesure dans laquelle son usage soutenait ou limitait la coordination collective des activités, les temps d'échange avec les collègues, la communication avec les intervenants extérieurs ainsi que l'existence de possibles conflits. Ces quatre dimensions, selon qu'elles s'expriment comme des contraintes ou des ressources, sont susceptibles de participer à la survenue de risques psychosociaux ou d'en modérer la survenue.

	PAS DU TOUT D'ACCORD	PLUTÔT PAS D'ACCORD	MOYENNEMENT D'ACCORD	PLUTÔT D'ACCORD	TOUT À FAIT D'ACCORD
INTENSITÉ DU TRAVAIL					
Le logiciel de soin facilite votre travail	1 %	2 %	7 %	42 %	48 %
Le logiciel de soin augmente votre charge de travail	13 %	20 %	30 %	23 %	14 %
SENS DU TRAVAIL					
Le logiciel de soin favorise la prise en charge des résidents	1 %	2 %	6 %	35 %	56 %
Le logiciel de soin permet de vous protéger en cas de litiges	0 %	1 %	5 %	27 %	67 %
Le logiciel de soin réduit le temps disponible pour d'autres activités que vous estimez plus importantes	13 %	20 %	27 %	23 %	17 %
AUTONOMIE					
Le logiciel de soin vous permet d'être plus autonome dans la réalisation de vos tâches	1 %	2 %	13 %	34 %	50 %
Vous avez le sentiment d'être autonome pour utiliser le logiciel de soin	0 %	2 %	10 %	46 %	42 %
Vous avez le sentiment qu'on surveille votre activité <i>via</i> le logiciel	9 %	14 %	17 %	32 %	28 %
ACTIVITÉ COLLECTIVE					
Le logiciel de soin favorise la coordination du travail entre les soignants	0 %	1 %	8 %	31 %	60 %
Le logiciel de soin favorise la communication avec les intervenants extérieurs	2 %	5 %	16 %	30 %	47 %
L'usage du logiciel de soin réduit les temps d'échanges avec les collègues	13 %	20 %	27 %	23 %	17 %
L'utilisation ou la non-utilisation du logiciel est source de conflit au sein des équipes	16 %	19 %	28 %	28 %	9 %

de l'étude ont permis de formuler les hypothèses ayant soutenu l'élaboration du questionnaire. Les effets sur l'intensité du travail, l'autonomie, le sens du travail et l'activité collective (Cf. Encadré 1 et Tableau 1), associés aux usages du logiciel, ont été évalués, ainsi que les conditions de mise en œuvre organisationnelles, matérielles et technologiques, et temporelles du logiciel contribuant à expliquer ces effets [1, 2]. Ces résultats ont permis de formuler des préconisations sur les conditions à mettre en œuvre pour accompagner l'utilisation de ce type de logiciel.

Précisons la portée de ces résultats. Un recensement des fournisseurs de logiciels de soin utilisés en Ehpad privés a mis en évidence une prédominance d'un fournisseur en particulier, les Ehpad privés à but lucratif tendant à s'équiper d'une solution commune par souci d'harmonisation. Cette prédominance se retrouve parmi les participants, dont la grande majorité utilisait ce même logiciel : l'analyse porte donc essentiellement sur un fournisseur, mais largement déployé en France. Ce choix ne limite cependant que partiellement la portée des préconisations : les résultats portant sur les condi-

tions organisationnelles, temporelles et matérielles sont indépendants des spécificités d'un logiciel et transposables à d'autres solutions.

Des effets perçus ambivalements

Les entretiens et observations ont mis en évidence des effets perçus comme ambivalements, confirmés par les résultats de l'enquête par questionnaire présentés ci-dessous (Cf. Tableau 1).

L'intensité du travail

Le questionnaire montre que le logiciel est perçu pour 90 % des répondants comme facilitant « plutôt ou tout à fait » le travail des soignants en leur donnant facilement accès à des informations pertinentes pour leur activité.

Son utilisation est cependant associée à une augmentation de la charge de travail perçue (37 % ont répondu « plutôt ou tout à fait » et 30 % « moyennement »). On relève également que 48 % des utilisateurs en temps réel et 29 % des utilisateurs en temps différé considèrent que son emploi est « plutôt ou tout à fait » une source d'interruptions dans la réalisation de leur activité. Enfin, 44 % des

↑ **TABLEAU 1**
Résultats descriptifs sur les quatre dimensions évaluées par questionnaire : intensité du travail, sens du travail, autonomie et activité collective.





© Rodolphe Escher pour l'INRS / 2025

usagers en temps différé estiment devoir fournir « *plutôt ou tout à fait* » des efforts de mémorisation pour se souvenir des informations à transmettre dans le logiciel (contre 24 % en temps réel).

Le sens du travail

Ils sont 91 % à estimer qu'il favorise « *plutôt ou tout à fait* » la prise en charge des résidents et 94 % qu'il permet de se protéger en cas de litiges avec les familles.

En revanche, 40 % des répondants considèrent que l'usage du logiciel réduit « *plutôt ou tout à fait* » le temps disponible pour d'autres activités qu'ils considèrent plus importantes (27 % le pensent « *moyennement* »). Ce sentiment est plus marqué chez les soignants de jour (comparé à ceux de nuit) et davantage chez les AS que chez les IDE.

L'autonomie

Parmi les répondants, 88 % se disent « *plutôt ou tout à fait* » autonomes pour l'utiliser; 53 % estiment avoir la possibilité de le faire évoluer selon leurs besoins et 84 % pensent qu'il leur permet d'être plus autonomes dans la réalisation de leur travail. Cependant, 60 % considèrent que leur activité est « *plutôt ou tout à fait* » surveillée *via* le logiciel de soin.

Le collectif

L'usage du logiciel est perçu à 91 % comme favorisant « *plutôt ou tout à fait* » la coordination du travail entre les soignants, ainsi qu'avec les intervenants extérieurs pour 77 % d'entre eux.

Ils sont néanmoins 40 % à penser que cela réduit « *plutôt ou tout à fait* » les temps d'échanges entre les soignants (27 % le pensent « *moyennement* »). Enfin, les résultats de l'enquête par questionnaire soulignent que son utilisation peut être « *plutôt ou tout à fait* » source de conflits avec les collègues pour 37 % et « *moyennement* » pour 28 %.

L'importance des conditions d'usage

Sur la base des observations réalisées en amont et des hypothèses formulées, le questionnaire explorait diverses dimensions matérielles et technologiques ainsi qu'organisationnelles accompagnant les usages du logiciel de soin et leurs relations avec les effets perçus mesurés.

Conditions matérielles et technologiques

→ Fiabilité

Les observations ont mis en évidence la survenue de bugs lors de l'utilisation, associés à des temps de gestion parfois importants, un manque de confiance dans l'usage et des abandons, pouvant se traduire par une multiplication des modes de

communication (par exemple, doubler les informations à l'oral ou sur un autre support écrit).

L'enquête par questionnaire confirme que des problèmes de fiabilité du logiciel et du réseau auquel se connectent les appareils persistent dans certains établissements, contraignant notamment les usages mobiles. Ainsi, seuls 9 % des répondants estiment ne pas avoir à faire face à des bugs lors de l'utilisation de la version mobile sur tablette. Les analyses statistiques montrent par ailleurs que ces bugs influencent directement le sentiment d'être interrompu dans la réalisation du travail, que cela réduit le temps disponible pour d'autres activités, ainsi que la confiance qu'ont les soignants dans l'outil.

Pour assurer des usages performants et protecteurs, il apparaît ainsi nécessaire de poursuivre les efforts en matière d'accès au réseau, de fiabilité du logiciel et des équipements le supportant. Tout particulièrement lors de la mise en œuvre d'un outil nomade (par exemple une tablette), une bonne connexion Internet est indispensable pour éviter les bugs et lenteurs et rendre l'outil plus fiable.

→ Satisfaction des interfaces

La conception du logiciel n'a pas fait l'objet d'une analyse en tant que telle, mais elle a été abordée comme l'un des déterminants à l'origine de contraintes ou de ressources psychosociales. Ces résultats liés au contenu et aux interfaces du logiciel sont plus étroitement liés à un fournisseur en particulier ; ils demeurent toutefois en grande partie transposables.

Les entretiens et observations réalisés auprès des soignants avaient permis d'identifier, pour certains soignants, un sentiment d'insatisfaction des interfaces sur tablette (version adaptée à la mobilité). Les caractères étaient jugés parfois trop petits et peu lisibles, l'arborescence compliquée, rendant ainsi difficile l'accès à une vue globale, et l'interface était considérée comme étant soit surchargée soit trop simplifiée (par exemple, la légende des évaluations n'est pas visible dans la version mobile). Les IDE notamment exprimaient ainsi le sentiment d'une activité mieux guidée sur l'ordinateur pour certaines tâches, telles que la traçabilité des pansements, pour lesquelles une traçabilité en temps réel (donc sur tablette) est pourtant attendue par la hiérarchie. Les observations ont montré qu'il était cependant parfois difficile de déterminer si ces difficultés relevaient uniquement de la conception du contenu du logiciel, de son interface utilisateur ou encore de la difficulté des soignants à l'utiliser. Le logiciel autorise ainsi une multitude de paramètres individuels dans la manière de présenter les informations plus ou moins bien connus et mis en œuvre par les soignants.

L'enquête par questionnaire a permis de montrer que les interfaces sont globalement évaluées comme étant plutôt confortables. La satisfaction ressort cependant comme étant légèrement moins élevée concernant l'interface du logiciel utilisée sur tablette (64 % de satisfaction pour la tablette contre 75 % pour l'ordinateur) et varie selon les motifs d'usage (signer les soins, visualiser les plans de soins, etc.). Dans l'enquête par questionnaire, lorsque les soignants perçoivent l'interface comme inconfortable, cela est associé à la perception d'une charge de travail accrue et d'un manque d'autonomie. Les soignants qui trouvent l'interface inconfortable sont également moins nombreux à penser que son usage facilite la communication avec les intervenants extérieurs ainsi que la coordination du travail entre collègues. L'insatisfaction au sujet des interfaces est également associée à davantage d'abandons de l'utilisation du logiciel.



© Gregoire Maisonneuve pour l'INRS / 2022



ENCADRÉ 2

USAGE DES ÉCRANS TACTILES MOBILES

L'usage de la tablette peut être à l'origine de postures de travail inconfortables n'ayant pas fait l'objet d'un recensement systématique dans cette étude. Malgré des avantages, l'adoption massive des écrans tactiles mobiles soulève des préoccupations en matière de santé au travail. Leur utilisation prolongée, dans des conditions potentiellement inadaptées, pourrait entraîner des troubles musculosquelettiques (TMS) spécifiques, différents des problèmes relatifs à l'usage d'ordinateurs fixes, pour lesquels les connaissances et les recommandations sont déjà documentées [7]. Il apparaît donc nécessaire d'identifier les contraintes biomécaniques associées à ces nouveaux dispositifs informatiques et de déterminer les modalités d'utilisation permettant de les limiter. C'est dans cet objectif qu'une nouvelle étude a débuté à l'INRS (conduite par Mathilde Schwartz et Kevin Desbrosses), avec pour objectif d'évaluer les contraintes biomécaniques associées à l'utilisation de différents écrans tactiles mobiles.

ment les informations doit soutenir leur digitalisation pour que le logiciel, et notamment sa version « nomade », reflète bien ces informations et le sens que les utilisateurs leur attribuent. Ceci demande des échanges lors de sa conception et la possibilité pour les équipes soignantes d'agir à ce niveau.

→ Dotation et caractéristiques du matériel

Dans l'enquête par questionnaire, l'insuffisance en matériel, et plus particulièrement en termes de nombre d'ordinateurs, participe à augmenter le sentiment de charge de travail. Parmi les répondants, seuls 35 % estiment que le nombre d'ordinateurs mis à disposition pour les usages du logiciel de soin est suffisant, alors qu'ils sont 71 % à le penser des tablettes. Ce sentiment est plus marqué chez les AS, pour lesquels les observations ont montré que la dotation en ordinateurs était plus modeste, que chez les IDE.

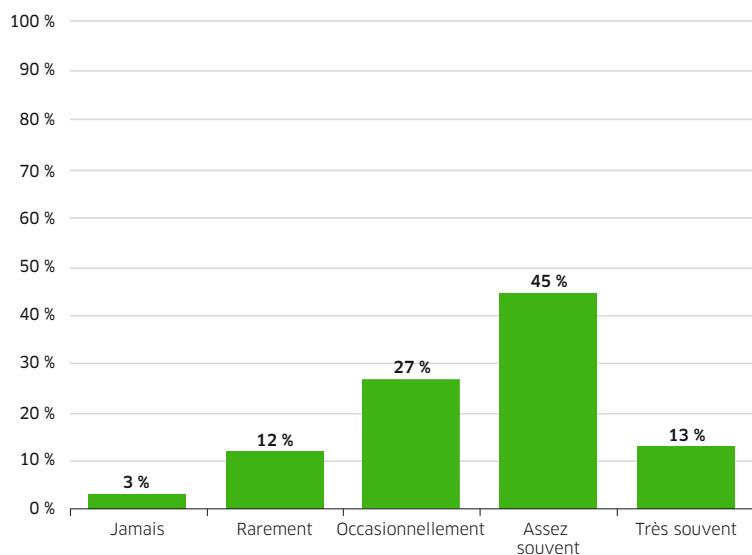
Les observations ont mis en évidence que, en raison de l'emploi différencié de l'ordinateur ou de la tablette selon le motif d'utilisation du logiciel (certains usages devant être réalisés en temps réel le sont difficilement sur station fixe), la mise à disposition des tablettes ne peut être considérée comme un moyen de compenser le manque d'ordinateurs. Les observations ont également montré le besoin de penser, au-delà de la disponibilité des outils, les modalités de leur mise en œuvre nomade, notamment les conditions de leur transport, ainsi que les modalités de connexion/reconnexion rapide pour préserver la confidentialité des données, tout en respectant les conditions d'hygiène.

Enfin, la nécessité de recharger la tablette ressort également comme un facteur expliquant le sentiment d'interruption. En effet, 62 % des soignants interrogés déclarent devoir recharger la tablette au cours de la journée (et 12 % occasionnellement), ce qui la rend alors indisponible et réduit ainsi l'autonomie perçue dans l'usage de la tablette.

Les résultats de l'enquête par questionnaire soulignent que 47 % des répondants n'ont pas de support de tablette alors qu'ils sont 81 % à en souhaiter un. Ceci pourrait expliquer l'adoption par les soignants de postures contraignantes liées, par exemple, au positionnement de la tablette sur leurs genoux (Cf. Encadré 2).

Pour des usages protecteurs, les outils fixes et nomades doivent être prévus en nombre suffisant pour assurer leur disponibilité et pour que chaque soignant puisse choisir l'outil le plus adapté. Il est également nécessaire d'organiser les conditions de mise en œuvre des tablettes dans leur globalité : mettre à disposition des chariots et des supports tablette adaptés à l'activité, améliorer leur autonomie pour éviter d'avoir à les recharger durant l'activité, prévoir des modalités de déconnexion/

↓ FIGURE 1
Répartition
en pourcentages
des réponses
à l'affirmation :
« Vous avez
le sentiment d'avoir
le temps nécessaire
pour utiliser
le logiciel de soin »
(n = 398).

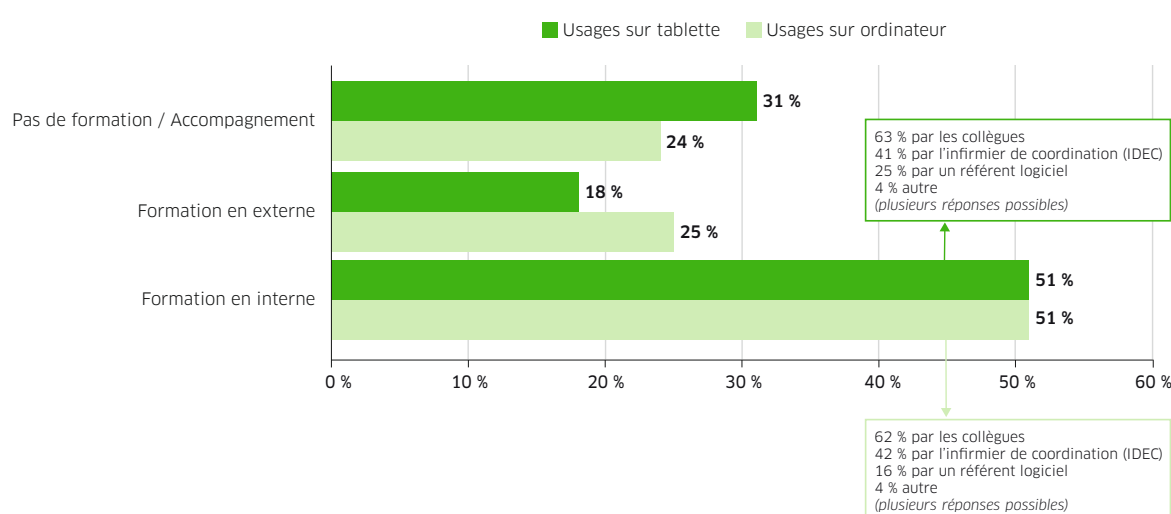


	UTILITÉ PERÇUE (Réponses « Plutôt d'accord » et « Tout à fait d'accord »)	TEMPS SUFFISANT POUR LE FAIRE (Réponses « Plutôt d'accord » et « Tout à fait d'accord »)
S'informer sur les résidents et leur état de santé	96 %	51 %
Visualiser les plans de soins	93 %	55 %
Transmettre des informations narratives*	93 %	67 %
Transmettre des informations ciblées**	90 %	65 %
Signer les soins réalisés	84 %	60 %

* Les transmissions permettent de tracer un comportement, une préoccupation, un changement d'état, etc.
Les transmissions narratives permettent de décrire la situation de façon libre.

** Les transmissions ciblées se focalisent quant à elles sur une cible précise, choisie parmi une liste préexistante et structurée de façon à orienter une action en réponse.

← **TABLEAU 2**
Utilité perçue
des actes réalisés
et suffisance
du temps pour
le faire.



← **FIGURE 2**
Formation reçue
aux usages
du logiciel de soin
sur ordinateur
et sur tablette
(n = 218).

reconnexion rapide pour préserver la confidentialité des données tout en assurant les conditions d'hygiène.

Conditions organisationnelles

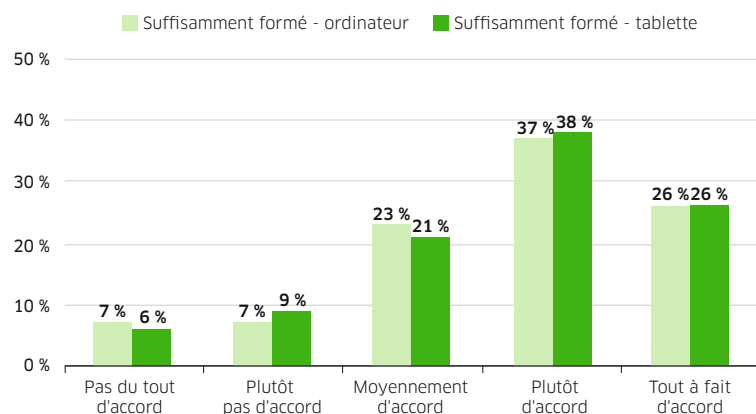
→ Temps de travail et temporalités du travail

Le sentiment d'avoir globalement le temps nécessaire sur la durée du poste de travail pour utiliser le logiciel de soin est partagé. Dans l'enquête quantitative, 58 % déclarent avoir souvent, voire toujours, ce sentiment, 27 % occasionnellement, 12 % ne sont plutôt pas d'accord et 3 % pas du tout (Cf. Figure 1).

Les résultats du questionnaire soulignent également que le fait de manquer de temps pour utiliser l'outil et le sentiment que son usage réduit le temps disponible pour réaliser d'autres activités jugées plus importantes, augmente la charge de travail perçue et diminue les possibilités d'échanges avec les collègues. Le manque de temps est aussi le premier facteur mentionné, parmi plusieurs réponses possibles, pour expliquer l'abandon ou le report de l'utilisation du logiciel de soin (57 %), devant les problèmes techniques (48 %), le contenu du logiciel (11 %) et le manque de formation (5 %).

Les motifs d'utilisation du logiciel jugés les plus utiles ne sont pas toujours ceux pour lesquels les soignants déclarent disposer de plus de temps. Par exemple, s'informer sur les résidents et leur état de santé est l'usage jugé le plus utile par les personnes interrogées. Cependant, c'est aussi pour cet usage que la proportion de répondants déclarant ne pas disposer du temps suffisant – ou seulement occasionnellement – est la plus élevée (Cf. Tableau 2). Selon les répondants au questionnaire, le temps dédié à l'utilisation du logiciel de soin n'est pas toujours intégré ou connu : 35 % des répondants pensent que le temps d'usage n'est pas intégré dans le temps de travail et 27 % ne le savent pas. Les entretiens menés auprès d'un nombre restreint de soignants ont permis d'apporter des éléments complémentaires. En effet, il avait été observé que si le temps différé peut être clairement indiqué dans les fiches de poste (en fin de journée par exemple), le temps d'usage du logiciel en temps réel n'est pas toujours clairement pris en compte. Or, lors des observations réalisées, le temps quotidien d'usage du logiciel de soin pouvait dépasser deux heures pour une IDE combinant les deux temporalités d'usage (temps réel et différé). Ceci pouvait ainsi conduire à décaler les horaires des





↑ FIGURE 3
Sentiment d'être
suffisamment
formé pour utiliser
l'ordinateur
(n = 423)
versus la tablette
(n = 321).

séquences de travail prévues dans les fiches de poste et réduire la marge de manœuvre temporelle disponible en fin de journée pour les soignants (alors même que les soignants participants considéraient le temps d'usage du logiciel en fin de journée comme une variable d'ajustement en cas de difficultés imprévues).

Pour des usages protecteurs, une bonne évaluation du temps devant être consacré à l'emploi du logiciel est essentielle et doit ainsi être (ré)intégrée dans le temps d'activité global, en tenant compte de la temporalité d'usage (temps différé et/ou réel). Le temps d'utilisation en temps réel, en particulier, ne doit pas être sous-estimé. Le soutien à la mise en œuvre du logiciel de soin ne peut donc pas s'affranchir de la

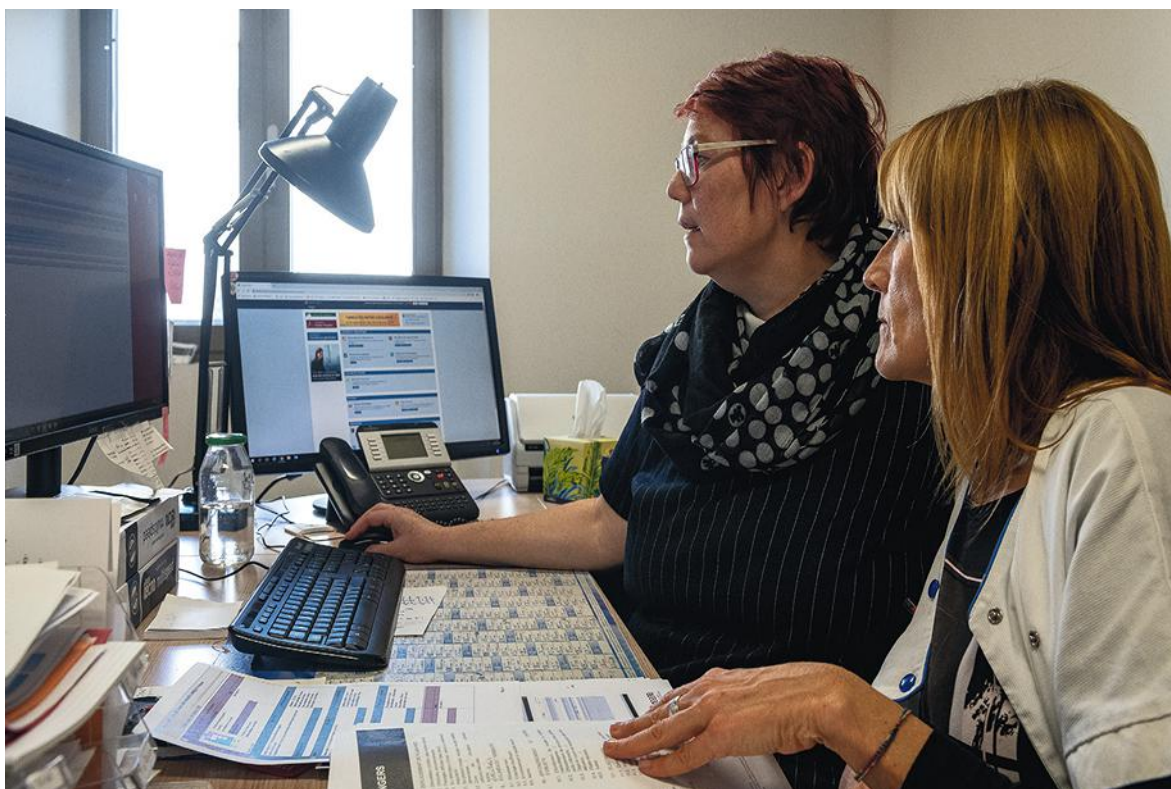
recherche de nouvelles marges de manœuvre temporelles dans une activité que l'on sait par ailleurs particulièrement chargée et imprévisible [4].

→ Formation

Les observations et entretiens réalisés ont pointé des formations initiales disparates, des difficultés exprimées par les soignants à dégager du temps pour se former de façon continue dans une activité temporellement contrainte. Certains exprimaient le sentiment d'une formation sous-estimée, tout comme la nécessité d'accompagner les usages des différentes versions d'un même logiciel (version complète et mobile, mises à jour). La prise en main et la formation à un outil nomade peuvent en effet sembler aisées et intuitives, y compris pour des utilisateurs qui ne sont pas à l'aise avec l'informatique de bureau conventionnelle.

L'enquête par questionnaire révèle qu'une part non négligeable des soignants concernés déclarent ne pas avoir été formés ou accompagnés aux usages du logiciel sur ordinateur (24 %) et sur tablette (32 %; Cf. Figure 2).

Cependant, la majorité des répondants expriment se sentir suffisamment formés (Cf. Figure 3), les « référents logiciel⁴ » se déclarant significativement mieux formés, que ce soit pour l'ordinateur ou pour la tablette. Ce sentiment est notamment corrélé au fait de se sentir à l'aise avec l'informatique (75 % des répondants se sentent « *plutôt* » voire « *tout à fait* » à l'aise avec l'informatique).



© Claude Almodovar pour l'INRS / 2019

Pour les soignants qui se disent satisfaits de la formation reçue, ce sentiment est corrélé avec le fait de pouvoir bénéficier de l'aide des collègues pour les IDE et de l'aide de la hiérarchie pour les AS, ce qui pointe l'importance des ressources collectives en matière de formation. L'enquête par questionnaire révèle en effet des formations principalement réalisées en interne par les collègues et l'encadrement, plus rarement par un formateur externe (Cf. Figure 2).

Le fait de ne pas se sentir suffisamment formé est associé dans les résultats du questionnaire à une moindre confiance dans le logiciel et au sentiment que son utilisation augmente la charge de travail. L'autonomie et le sens sont également affectés par le manque de formation.

Ainsi, pour des usages protecteurs, les formations pourraient encore être renforcées dans leur organisation et leur déploiement. Cela pourrait passer par la mise en place de formations systématiques intégrant la question de la traçabilité dès la formation initiale pour toutes les catégories de soignants, ainsi que par des sessions de formation continue portant sur les différentes versions du logiciel et les outils associés, afin d'accompagner la montée en compétences des soignants. Lorsque ces formations sont assurées par des collègues ou par l'infirmier de coordination (IDEC), ceux-ci doivent disposer de ressources dédiées, notamment en temps, pour les mettre en œuvre efficacement.

Conclusion

Les résultats de l'étude montrent que l'usage du logiciel de soin est perçu comme vecteur de ressources psychosociales, par exemple, le fait de disposer des informations pertinentes à la réalisation de l'activité, de favoriser la prise en charge des résidents ou encore de se protéger en cas de litiges. Il peut cependant s'accompagner de contraintes, telles qu'un sentiment de charge de travail accrue, de réduction du temps disponible pour d'autres

activités, d'un sentiment de contrôle ou de limitation des temps d'échanges avec les collègues. Ces effets positifs comme négatifs peuvent être influencés par des conditions d'usage matérielles, technologiques et organisationnelles. Certaines conditions favorables ont été identifiées: la prise en compte du temps et des temporalités d'usage dans le temps de travail, une formation plus systématique à l'utilisation du logiciel dans sa globalité (formation à l'outil, aux différentes versions du logiciel), une dotation en matériel suffisante en considérant l'ordinateur et la tablette comme non interchangeables (chacun renvoyant à des emplois spécifiques), etc. Les usages en temps réel nécessitant des outils mobiles demandent, quant à eux, une attention particulière sur différents aspects tels que la conception des interfaces, les caractéristiques des outils mobiles, la fiabilité du réseau, l'intégration des temps d'usage en temps réel dans le temps de travail, etc.

Ces préconisations portant sur les usages mobiles, ici identifiées au sein des Ehpad, peuvent probablement être transposées à d'autres secteurs d'activité. Ces pratiques, aux intérêts certains, sont susceptibles de modifier les rapports au temps et à l'espace dans tous les secteurs d'activité. De nombreuses études mettent ainsi en évidence un décalage possible entre les promesses de gains et de flexibilité et une réalité combinant perte de temps et sentiment d'urgence, temporalités d'activité discontinues et fragmentées et recherche de nouvelles marges de manœuvre pour les professionnels [5, 6]. Autant de contraintes rappelant la nécessité d'accompagner le choix et l'intégration de chaque nouvelle technologie, aussi anodine puisse-t-elle sembler. ●

1. Entre avril 2021 et janvier 2022.
2. Entre novembre 2023 et janvier 2024.
3. Entre janvier et avril 2024.
4. Soignant à qui on a attribué une mission d'information, de conseil voire de formation aux usages des logiciels auprès des collègues.

BIBLIOGRAPHIE

[1] CUNY-GUERRIER A., PIERRETTE M. – Les logiciels de soins en Ehpad: analyse qualitative des conditions d'usage et effets pour l'activité des soignants. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 2023, 84, p. 101849. Accessible sur: <https://doi.org/10.1016/j.admp.2023.101849>

[2] CUNY-GUERRIER A., PIERRETTE M. – Temporalités d'usage des logiciels de soin en EHPAD et effets sur l'intensité, l'autonomie, le sens et le collectif. *Le travail humain*, 2025, 88 (3), pp. 227-253. Accessible sur: <https://doi.org/10.3917/th.883.0227>

[3] ZHANG J., WALJI M.F. – TURF: toward a unified framework of EHR usability. *Journal of biomedical informatics*, 2011, 44 (6), pp. 1056-1067.

[4] MARQUIER R. ET AL. – Des conditions de travail en Ehpad vécues comme difficiles par des personnels très engagés. *Les dossiers de la DREES*, 2016, 5, pp. 3-50.

[5] ANACT – Travail et numérique en santé.

Les effets des transformations numériques sur les conditions de travail dans les établissements sanitaires et médico-sociaux. Rapport national d'exploration, 2024, 44 p. Accessible sur: <https://veille-travail.anact.fr/osiros/result/notice.php?queryosiros=id:102213&referer=home>

[6] BESSEYRE DES HORTS C.H., ISAAC H. – L'impact des TIC mobiles sur les activités des professionnels en entreprise. *Revue française de gestion*, 2006, 168-169 (9-10), pp. 243-263. Accessible sur: <https://shs.cairn.info/revue-francaise-de-gestion-2006-9-page-243?lang=fr>

[7] KERANGUEVEN L., ABDOURAMANE F., GAUDEZ C., CAPITAINE L. – *Le travail sur écran. Guide pratique pour la prévention des risques*. INRS, ED 6538, 2025. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206538>

Étude de cas

CARACTÉRISATION DES NIVEAUX DE CONCENTRATION ET D'EXPOSITION AUX AGENTS BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES DANS LES UNITÉS DE MÉTHANISATION-COMPOSTAGE

Retour d'expérience et préconisations de prévention

PATRICIA
BATTAIS,
SULLIVAN
LECHÊNE
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

FRÉDÉRIC
CLERC
INRS,
département
Métrologie
des polluants

→ **LA PROBLÉMATIQUE:** La méthanisation, procédé biologique anaérobie souvent complété par une étape de compostage, permet la décomposition de déchets organiques par des microorganismes. Ce procédé de traitement des déchets se développe depuis de nombreuses années en France car il permet la production de matière organique (digestat) et de biogaz valorisables (Cf. *Lexique*). Cependant, les salariés de ce secteur sont potentiellement exposés à des agents biologiques et chimiques, produits au cours du procédé et dangereux pour leur santé. Les niveaux de concentration et d'exposition à ces polluants sont peu documentés.

→ LA RÉPONSE DE L'INRS

L'INRS a engagé une étude afin de réaliser des mesures sur plusieurs sites de méthanisation-compostage, mesures d'ambiance dans les différents locaux professionnels et mesures individuelles sur les opérateurs.

Les mesures réalisées ont montré des expositions non négligeables aux polluants biologiques et chimiques et ont permis d'identifier les étapes des procédés de méthanisation et de compostage les plus émissives. Elles ont ainsi permis d'orienter les préconisations de prévention, notamment vers la réduction des émissions à la source par l'amélioration des pratiques de travail et des systèmes de prévention existants (captage à la source, venti-

LEXIQUE

Biogaz : Gaz produit à partir de matières organiques renouvelables et composé essentiellement de méthane (50 % à 70 %) et de dioxyde de carbone (30 % à 50 %).

Digestat : Résidu solide ou liquide récupéré après la méthanisation.

Digesteur : Réacteur biologique dans lequel ont lieu les réactions de transformation de la biomasse et la production du biogaz.

Intrants : Matières premières utilisées pour la méthanisation. Il peut s'agir de déchets agricoles (fumier, lisier, etc.), de déchets de l'industrie agroalimentaire (fruits, légumes, etc.), de déchets urbains (déchets verts, biodéchets ménagers ou issus de la restauration collective, etc.) ou encore de déchets industriels (eaux de lavage, boues industrielles, etc.).

lation générale), ainsi que vers la sensibilisation des opérateurs aux risques liés à la gestion des déchets.

Protocole et stratégie de mesure

Les campagnes de mesure ont été réalisées dans six unités de méthanisation-compostage d'ordures ménagères en France (sites A à F), sélectionnées en



© Gaël Kerbaol / INRS / 2022

fonction de la variété des procédés et méthodes utilisés (Cf. Tableau 1). Les mesures ont été effectuées sur des sites situés en zone non touristique ou à des périodes hors saison estivale, de sorte que les tonnages et la composition des déchets manipulés étaient habituels. Ce type de site emploie en général entre 20 et 30 salariés. Les conditions d'activité étaient typiques pour ce secteur, c'est-à-dire hors période de maintenance inhabituelle, avec quelques possibles arrêts techniques usuels dans ce

type d'usine. Sur l'un des sites (D), deux campagnes de mesures (D1 et D2) ont été réalisées à deux périodes différentes, pour juger de l'effet de la saisonnalité notamment.

Les sites de méthanisation-compostage utilisent des procédés différents (Cf. Tableau 1) [1]. Les technologies disponibles utilisent en général le traitement par voie sèche, et peuvent être classées en trois grands modes opérationnels : les réacteurs verticaux avec recirculation de digestat ou de

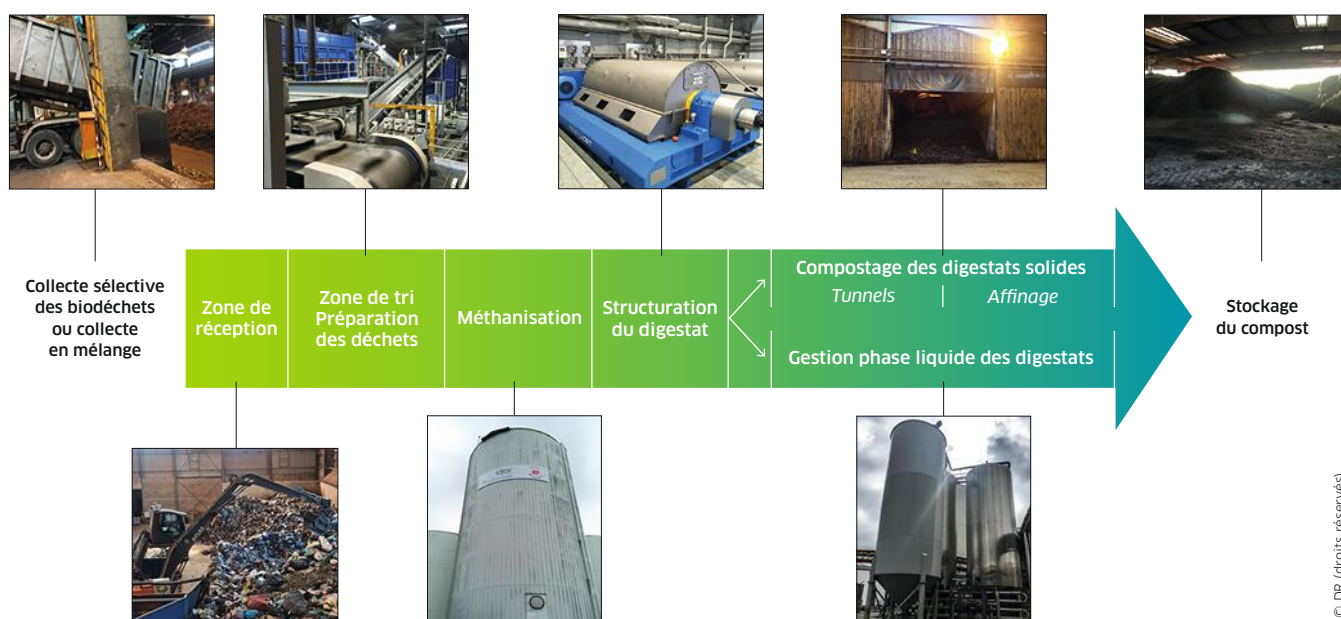
↓ **TABLEAU 1**
Résumé des caractéristiques principales des sites de méthanisation-compostage étudiés et conditions climatiques relevées durant les campagnes de mesures réalisées entre 2016 et 2018.

SITE	TYPE DE DÉCHETS	PROCÉDÉ	PÉRIODE DE PRÉLÈVEMENT	TEMPÉRATURE MOYENNE (°C)*	HYGROMÉTRIE MOYENNE (%)*
A	70 000 t DMA ¹ 30 000 t de biodéchets variés	Valorga	Octobre	18 °C	74 %
B	30 000 t DMA ¹ 6 000 t de biodéchets variés	BAL-Hybrid	Mars	16 °C	75 %
C	70 000 t de DMA ¹	Dranco	Mai	25 °C	59 %
D	30 000 t de biodéchets domestiques 5 000 t de biodéchets variés 10 000 t de DV ²	Kompogas	Décembre (D1)	8 °C	78 %
			Septembre (D2)	19 °C	87 %
E	20 000 t de FFOM ³ 20 000 t de DV ² 4 000 t de biodéchets variés	Linde-BRV	Avril	15 °C	72 %
F	85 000 t de DMA ¹	Valorga	Novembre	21 °C	70 %

1. DMA : déchets ménagers et assimilés. 2. DV : déchets verts. 3. FFOM : fraction fermentescible des ordures ménagères.

* Relevées dans l'air ambiant sur site durant les campagnes de mesures.





↑ FIGURE 1
Étapes de
traitement des
déchets dans
les unités de
méthanisation-
compostage.

biogaz (procédés Dranco et Valorga, respectivement), les réacteurs horizontaux (procédés Linde-BRV et Kompogas) et les réacteurs discontinus dits « type batch » avec percolation (procédé BAL-Hybrid).

En fonction du type d'intrant et du type de procédé, les sites de méthanisation présentent différentes zones de traitement. Cependant, certaines zones sont redondantes sur les différents sites et les activités ont lieu au niveau de cinq zones principales (Cf. Figure 1) :

- la zone réception avec les quais de déchargement des déchets entrants ;
 - la zone de tri-préparation où les déchets sont triés et traités afin de sélectionner la fraction organique la plus fine possible (généralement inférieure à 10 mm) à introduire dans le digesteur ;
 - la zone de « structuration du digestat » ou « structuration-déshydratation » située après l'étape de méthanisation, où les déchets sont déshydratés par centrifugation ou presse, et où le digestat produit (déshydraté ou brut) est mélangé avec du structurant (déchets verts, déchets frais, etc.). Les déchets verts sont ainsi souvent broyés au niveau de cette zone ;
 - les tunnels de compostage (fermés et étanches, avec ventilation par soufflage ou aspiration) où les digestats « solides » sont compostés ;
 - la zone d'affinage ou de criblage du compost (en local fermé ou en zone semi-ouverte) permettant d'obtenir un produit fini commercialisable.
- Les polluants connus pour être potentiellement présents dans l'air des usines de méthanisation-compostage sont à la fois d'origine biologique (bactéries, moisissures, endotoxines notamment) ou chimique

(ammoniac, sulfure d'hydrogène, composés organiques volatils, protoxyde d'azote, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, méthane, métaux variés suivant la composition des intrants). On retrouve également les poussières [2]. Ces composés font l'objet pour certains de valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP-8h et VLCT-15 min) ou de valeurs guides (pour les agents biologiques) afin d'évaluer l'exposition potentielle des opérateurs de ce secteur (Cf. Tableau 2).

Les polluants précités ont différentes sources potentielles sur les sites de méthanisation-compostage :

- les agents biologiques sont associés aux déchets entrants, aux procédés mis en œuvre, ainsi qu'à l'environnement ambiant ;
- l'ammoniac (NH_3) est produit suite à la biodégradation de la matière organique (ammonification), son émission se produit donc généralement après méthanisation (zones de structuration-déshydratation et compostage) ;
- les composés organiques volatils (COV) sont en général issus des déchets et de leur fermentation. Les principaux retrouvés sont des terpènes, des cétones et des alcools ;
- le protoxyde d'azote (N_2O) est généralement produit en zone compostage, lors des processus de nitrification / dénitrification ;
- le monoxyde de carbone (CO) peut être présent du fait du moteur thermique des engins utilisés sur les sites (chargeuses, pelles, etc.), ou de la fermentation des déchets ;
- le dioxyde de carbone (CO_2) est émis également du fait de l'utilisation de moteurs thermiques dans les locaux, et lors de la transformation du carbone des déchets en CO_2 au cours des processus de dégradation ;

POLLUANT	VLEP-8H	VLCT-15 MIN	VALEURS GUIDES	FICHE TOXICOLOGIQUE OU NOTE ASSOCIÉE
Bactéries	–	–	10 ⁵ UFC/m ³ 10 ⁶ UFC/m ³	HST : NT 109 [3]
Moisissures	–	–	10 ⁵ UFC/m ³ 10 ⁶ UFC/m ³	HST : NT 109 [3]
Endotoxines	–	–	200 UE/m ³ 1 000 UE/m ³	HST : NT 25 [4]
Poussières (MPT*)	4 mg/m ³ (FI) 0,9 mg/m ³ (FA)	–	–	–
NH ₃	10 ppm _v	20 ppm _v	–	INRS : FT 16 [5]
N ₂ O	–	–	–	INRS : FT 267 [6]
MEK**	200 ppm _v	300 ppm _v	–	INRS : FT 14 [7]
2-butanol	100 ppm _v	–	–	–
CO	20 ppm _v	100 ppm _v	–	INRS : FT 47 [8]
CO ₂	5000 ppm _v	–	–	INRS : FT 238 [9]
H ₂ S	5 ppm _v	10 ppm _v	–	INRS : FT 32 [10]
CH ₄	–	–	–	–

*MPT : matières particulaires totales (FI : fraction inhalable ; FA : fraction alvéolaire). Pour les MPT, les valeurs indiquées ne sont pas des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) à proprement parler, mais des concentrations réglementaires moyennes à ne pas dépasser.

**MEK : butanone (méthyléthylcétone).

- le méthane (CH₄) est produit par le processus de méthanisation, et capté dans un but de valorisation énergétique, d'où sa présence potentielle sur les sites de méthanisation-compostage ;
- le sulfure d'hydrogène (H₂S) est émis lors de la fermentation en conditions anaérobies (sans oxygène O₂) de matière organique particulièrement riche en composés soufrés, les risques d'émission se situent au niveau du stockage d'intrants riches en soufre ou de digestat produit à partir de ces intrants, des canalisations permettant la circulation des jus de méthanisation, mais aussi au niveau des tas de compost s'ils ne sont pas suffisamment aérés ;
- les métaux peuvent être présents dans les déchets entrants, suivant les consignes de tri ou le contenu des déchets traités ;
- les poussières ou matières particulaires totales (MPT) sont principalement produites par les actions physiques ou mécaniques sur les déchets (manipulation en tri-préparation, retournement en compostage, broyage, criblage, nettoyage...).

Matériels et méthodes

Méthodes de mesure pour les composés biologiques et chimiques

Afin de mesurer ou de suivre l'ensemble de ces composés dans ce contexte de polyexposition, deux méthodes ont été déployées en parallèle : des prélèvements conventionnels sur filtre avec une analyse différée des échantillons au laboratoire et un suivi en temps réel avec des détecteurs adaptés. En fonction du polluant considéré, l'une ou l'autre des méthodes, ou les deux ont été utilisées. Dans le cas des prélèvements conventionnels, des

échantillons ont été collectés (en ambiance dans l'air des locaux de travail, en individuel sur les opérateurs à l'aide de harnais, au poste de conduite d'engins – chargeuse¹ – à l'intérieur de la cabine) en continu sur plusieurs heures, suivant le polluant et la méthode de prélèvement préconisée (base de données MétroPol²). Les prélèvements ont été réalisés en mode actif avec pompe (agents biologiques, poussières et métaux, NH₃ et COV/ambiance) ou en mode passif (N₂O et COV/individuel). Les analyses au laboratoire ont été réalisées suivant les méthodes développées et préconisées par l'INRS (MétroPol).

Le suivi en temps réel (ambiance, individuel, chargeuse) a été réalisé pour certains composés chimiques, soit pour compléter les prélèvements conventionnels, notamment par le repérage de pics d'exposition en fonction de l'activité (COV, NH₃, N₂O), soit du fait de la difficulté ou de l'impossibilité de prélever ces composés sur des supports de prélèvements (CH₄, CO, CO₂, H₂S). Les détecteurs en temps réel déployés ont été choisis en fonction de leurs caractéristiques (gamme de mesure, poids de l'appareil, portabilité, etc.), ce qui a conduit à assigner chaque modèle à une tâche spécifique :

- des détecteurs multigaz (pouvant mesurer COV, NH₃, CH₄, CO, CO₂, H₂S, N₂O suivant modèle et configuration) en mode actif (MultiRAE, RAE, France ; G200, Geotech, France) ont été principalement utilisés pour des mesures en ambiance, du fait de leur poids plus important que les autres qui les rend moins adaptés à être portés par les opérateurs ;
- d'autres détecteurs multigaz (pouvant mesurer NH₃, CH₄, H₂S suivant modèle et configuration) en mode

↑ **TABLEAU 2**
Résumé des principales valeurs limites d'exposition professionnelle ou valeurs guides en France pour les polluants chimiques et biologiques rencontrés dans l'air des sites de méthanisation-compostage.



MESURES	PRÉLÈVEMENTS CONVENTIONNELLS						DÉTECTION EN TEMPS RÉEL		
	Ambiance	Individuel	Chargeuse	Conditions	Analyse	Métropol	Ambiance	Individuel	Chargeuse
Bactéries Moisissures	Pompe + cassette	Pompe + cassette	Pompe + cassette	2L/min → 4h	Comptage	M-147	–	–	–
Endotoxines	Pompe + cassette	–	Pompe + cassette	2L/min → 4h	Méthode LAL Spectrophotométrie	M-454	–	–	–
Poussières (MPT*)	Pompe + cassette	–	Pompe + cassette	2L/min → 8h	Gravimétrie	M-274	–	–	–
NH ₃	Pompe + cassette	Pompe + cassette	Pompe + cassette	1L/min → 8h ou 2L/min → 4h	Chromatographie ionique	M-13	MultiRAE	QRAE3	Cairsens
Métaux	Pompe + cassette	–	Pompe + cassette	2L/min → 8h	ICP-AES	M-125	–	–	–
N ₂ O	–	Tube zéolithe	–	Passif	GC-TCD	M-415	G200	–	–
COV	Pompe + tube	Badge Gabie	–	200mL/min → 8h ou passif	GC-MS	M-338	MultiRAE	Cub	–
CO	–	–	–	–	–	–	MultiRAE	–	–
CO ₂	–	–	–	–	–	–	MultiRAE	–	–
H ₂ S	–	–	–	–	–	–	MultiRAE	QRAE3	–
LIE/CH ₄	–	–	–	–	–	–	MultiRAE	QRAE3	–
T (°C) / HR (%)	–	–	–	–	–	–	Testo 635	–	–

*MPT : matières particulaires totales.

↑ **TABLEAU 3**
Résumé des
méthodes de
mesure utilisées
pour les polluants
biologiques
et chimiques
mesurés sur les
différents sites de
méthanisation-
compostage.

actif (QRAE3, RAE, France ; BW GasAlertMicro5, BW Technologies Honeywell, France) et des détecteurs de COV en mode passif (Cub, ION Science, France) ont été utilisés pour les mesures individuelles, du fait que ce sont des appareils plus légers et portables. Les détecteurs Cub sont spécialement conçus pour les COV, mais sont sensibles à l'ammoniac ;

- des micro-capteurs d'ammoniac en mode passif (Cairsens, Envea, France) ont été utilisés pour les mesures en cabines d'engins (chargeuses). Leur gamme de mesure plus faible permet d'obtenir une meilleure précision et est adaptée aux cabines dans lesquelles les polluants sont présents à de faibles concentrations.

Les données de température et d'humidité ont été relevées sur chaque site à chaque point de mesure à l'aide de thermohygromètres (Testo 635, Testo, France). Dans le cas des échantillons biologiques, des points de référence ont été réalisés en extérieur, dans des zones supposées exemptes de pollution, et en intérieur (bureaux). L'ensemble des mesures réalisées est résumé dans le *Tableau 3*.

Méthode de mesure pour le taux de renouvellement d'air des locaux

Le taux de renouvellement, déterminé ici par traçage gazeux, est une valeur théorique correspondant au nombre de fois où le volume d'air d'un local est remplacé en une heure. La mesure par traçage gazeux consiste à ensemençer l'air du local avec un

gaz non présent dans l'environnement (hexafluorure de soufre SF₆) puis à enregistrer et exploiter la décroissance de sa concentration au cours du temps (analyseur de gaz SF₆, InfraRan, Wilks, États-Unis). En corrélant cette décroissance au volume du local (V), il est possible d'estimer un débit d'air global de renouvellement (Q_{air} = R.V) et de le comparer au débit créé par la seule ventilation mécanique. Ces données peuvent servir à pondérer des conclusions sur des niveaux de concentration ou d'exposition obtenus dans des conditions de renouvellement d'air inhabituelles (par exemple porte ouverte en période estivale). En première approximation, l'application d'une règle de proportionnalité permet d'ajuster les concentrations relevées en situation inhabituelle pour les rapporter à une situation de ventilation mécanique normale.

Analyses statistiques

Une « carte de chaleur » a été réalisée afin de représenter les niveaux ambiants de concentrations (prélèvements conventionnels sur filtre) en poussières, bactéries, moisissures, endotoxines et ammoniac et de mettre en évidence la potentielle polyexposition des opérateurs à ces substances.

Une « carte de chaleur » est obtenue en utilisant les données d'un tableau à trois entrées. Les colonnes représentent les substances mesurées pour chacune des étapes du procédé dans l'ordre du traitement de la matière organique. Les lignes représentent les différents sites d'intervention.

ZONE/SITE	A	B	C	D	E	F
Réception + préparation-tri	4,9	3,4	13	2,2	1,8	1,8
Structuration-déshydratation	7,1		–	2,1	–	4,9
Tunnels	–	3,2	2,3	3,3	1,9	2,4
Affinage	–		3	0,3	1,4	2

← TABLEAU 4
Taux de renouvellement d'air mesurés (vol/h).

Les valeurs dans chaque case indiquent le nombre de mesures de concentrations ambiantes effectuées et la couleur indique la plage de centiles dans laquelle se situe la moyenne géométrique des concentrations par rapport à toutes les concentrations mesurées.

- En rouge, la moyenne géométrique pour l'étape du procédé considéré est supérieure ou égale au 90^e centile de l'ensemble des mesures réalisées pour la substance ;
- En orange, la moyenne géométrique pour l'étape est comprise entre le 70^e et le 90^e centile de l'ensemble des mesures réalisées pour la substance ;
- En vert, la moyenne géométrique pour cette étape est strictement inférieure au 70^e centile de l'ensemble des mesures réalisées pour la substance.

Dans le cas des composés biologiques (endotoxines, bactéries, moisissures), environ 140 mesures ont été réalisées, toutes zones confondues. Dans le cas des autres composés illustrés par la carte (poussières, ammoniac), environ 220 mesures ont été effectuées. Les données statistiques (dénombrements, moyennes et écarts-types) ont également été calculées en fonction de l'étape du procédé considérée.

Résultats des mesures

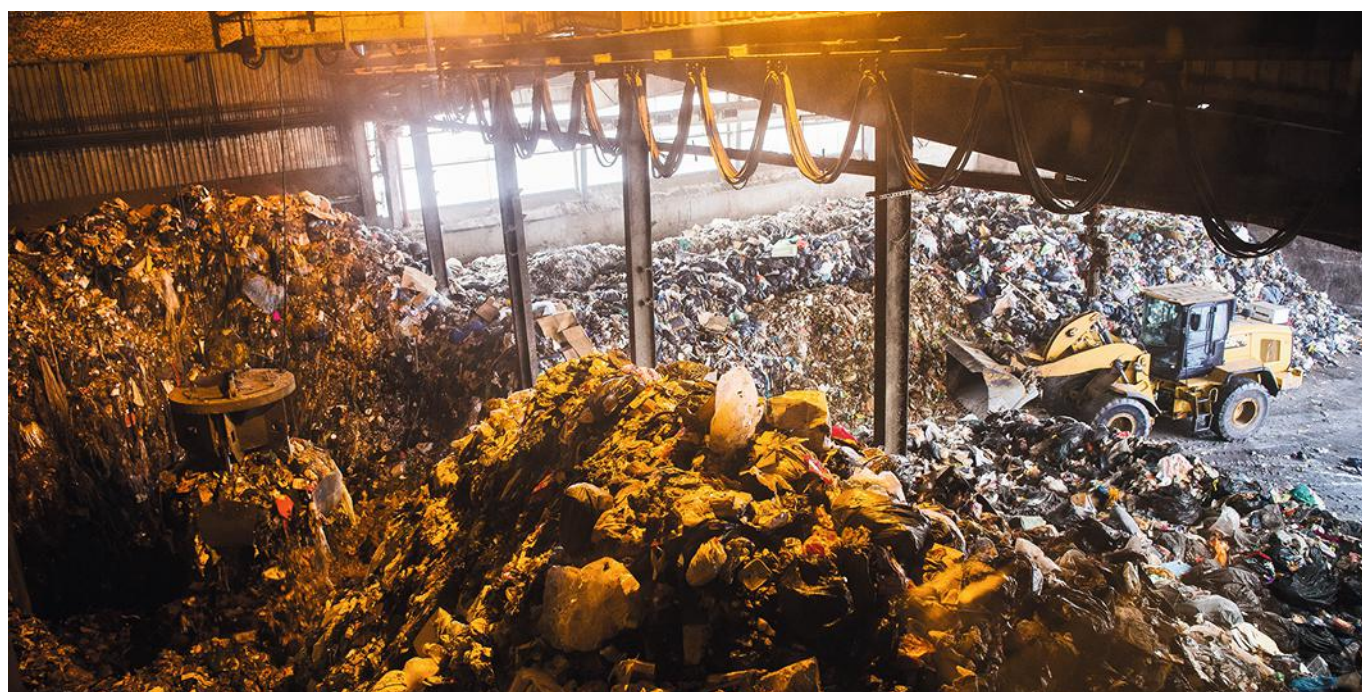
Mesures du taux de renouvellement d'air des locaux

Le *Tableau 4* présente les taux de renouvellement d'air mesurés sur les sites A à F. Dans l'ensemble, ces valeurs s'inscrivent dans l'ordre de grandeur attendu pour un site industriel, généralement compris entre deux et quatre renouvellements par heure.

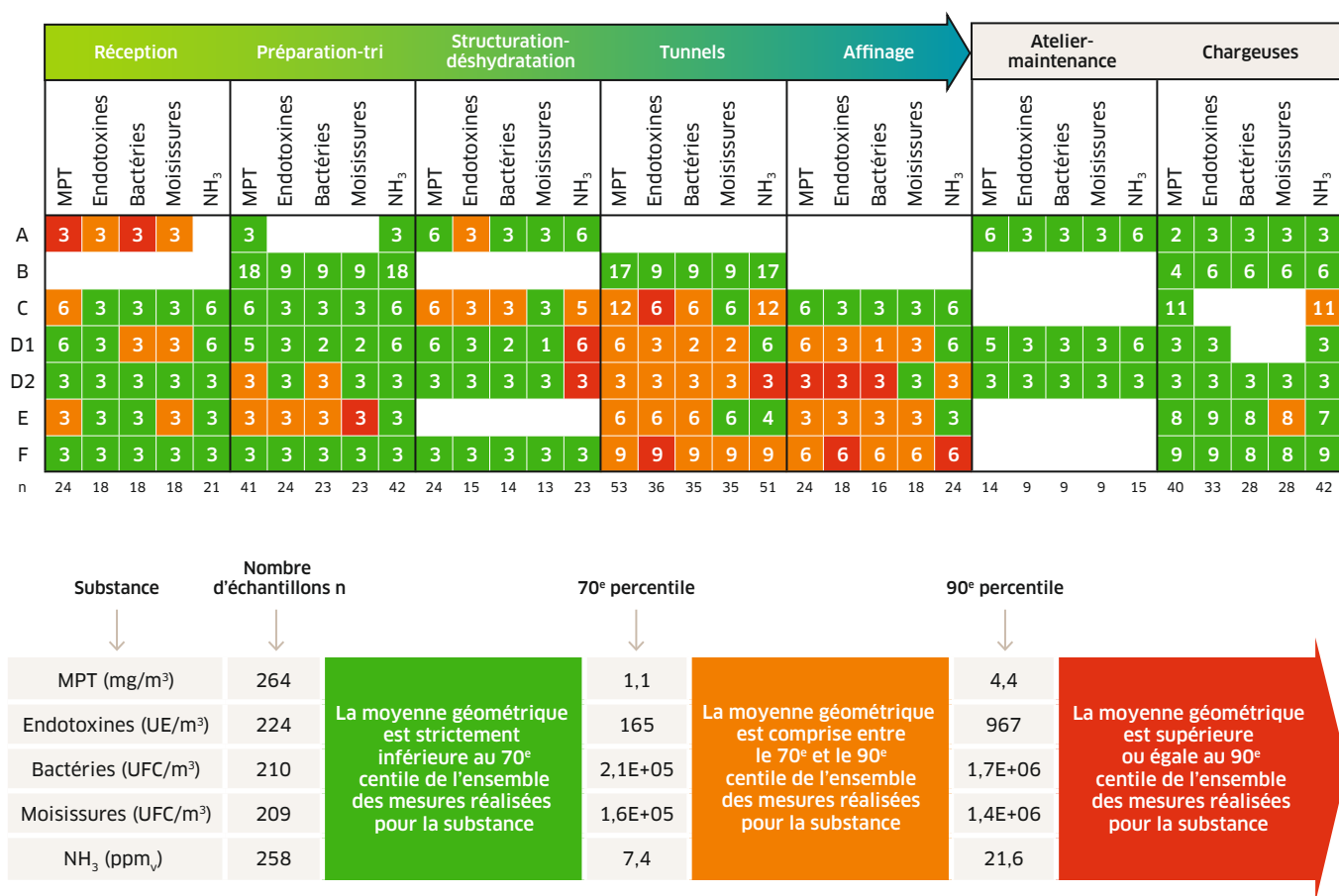
De fortes disparités apparaissent toutefois suite à des conditions inhabituelles de fonctionnement. Pour la zone de préparation-tri du site C, le taux élevé s'explique par l'ouverture des locaux lors de la mesure. Cette configuration, bien qu'inhabituelle, reflète les conditions réelles de travail lors de la campagne de mesures, marquée par un épisode de canicule. La valeur quasi nulle mesurée pour la zone d'affinage du site D résulte d'une panne du système de ventilation faute d'entretien préventif. Le renouvellement était alors exclusivement assuré par la ventilation naturelle au niveau des fuites du local.

Mesures (prélèvements conventionnels sur filtre) en ambiance pour les agents biologiques, les poussières et l'ammoniac

La « carte de chaleur » (*Cf. Figure 2*) permet de visualiser les niveaux de concentration pouvant



© Gaël Kerbaol / INRS / 2016



↑ FIGURE 2
« Carte de chaleur » des concentrations ambiantes en polluants chimiques et biologiques mesurées dans les différentes zones des sites de méthanisation-compostage lors des sept campagnes de mesures.

occasionner une polyexposition aux composés chimiques et biologiques dans les différentes zones des sites. Elle met notamment en évidence la présence des différents polluants en quantités significatives dans la partie compostage (tunnels et affinage) pour la plupart des entreprises. Elle permet également de repérer aisément les zones sur lesquelles une action induisant une diminution des niveaux de concentrations est nécessaire, comme par exemple la zone de réception de l'entreprise A ou la zone de préparation-tri de l'entreprise E pour lesquelles les poussières, endotoxines, bactéries et moisissures sont présentes en concentration plus importante que sur l'ensemble des sites investigués. Il est également possible de repérer les polluants pouvant représenter une problématique de prévention dans une entreprise donnée, comme par exemple les poussières et agents biologiques dans l'entreprise E pour la plupart des zones.

Les données statistiques complémentaires, toutes entreprises confondues, figurent dans le Tableau 5 [11]. À noter que la « carte de chaleur » avec son code couleur donne une indication statistique, mais ne place pas les concentrations mesurées par rapport à une limite d'exposition professionnelle.

En fonction des zones ou des étapes du procédé considérées, les polluants en présence et leur

quantité vont varier, en lien direct également avec les pratiques de chaque site.

Dans la partie de préparation-tri, les matières sont souvent peu émissives et les équipements de tri pourvus de systèmes de captage, ce qui explique des niveaux de concentration peu élevés. Pour autant, le site E présente des niveaux de concentration importants en polluants biologiques.

Dans la zone de structuration-déshydratation, les matières traitées sortent directement de méthanisation et sont donc très émissives, notamment en ammoniac. Sur les sites A et F, le transfert du digestat et les dispositifs de traitement sont clos avec captage des émissions, d'où les niveaux de concentration faibles observés pour l'ammoniac. À l'inverse, la conception et le fonctionnement déficients des systèmes de captage dans cette même zone sur le site D (avec notamment le non-replacement des capotages sur les convoyeurs après inspection ou maintenance) occasionne des niveaux de concentration très élevés (Cf. Figure 2).

Dans la partie dédiée à l'affinage, les matières manipulées sont généralement du compost affiné et des refus d'affinage en grandes quantités. Les polluants les plus problématiques à ce stade sont en général les agents biologiques, ce qui est constaté pour la plupart des sites. Pour autant, la matière peut encore émettre de fortes quantités d'ammoniac et

	MOYENNE GÉOMÉTRIQUE					ÉCART-TYPE GÉOMÉTRIQUE				
	MPT (mg/m ³)	Endotoxines (UE/m ³)	Bactéries (UFC/m ³)	Moississures (UFC/m ³)	NH ₃ (ppm _v)	MPT	Endotoxines	Bactéries	Moississures	NH ₃
Réception	1	62	1,2.10 ⁵	2.10 ⁵	1,9	3,1	4,2	6,6	4,2	2
Tri-préparation	0,4	10	1,1.10 ⁴	2,9.10 ⁴	0,7	2,8	7,5	18,1	10,8	2,5
Structuration digestat	0,3	71	1,3.10 ⁴	6,5.10 ³	9,8	5,6	5,9	7,3	9,2	3,3
Tunnels	0,9	225	2,1.10 ⁵	1,6.10 ⁵	7	5	9,8	10,9	5,6	2,7
Affinage	1,9	539	5,3.10 ⁵	2,7.10 ⁵	4,8	3,1	5,3	7,7	8,5	4,1
Atelier-maintenance	0,2	16	1,8.10 ⁴	1,1.10 ⁴	3,2	2,2	1,9	2,1	3,5	2,1
Chargeuses	0,2	14	3,2.10 ⁴	1,9.10 ⁴	1,9	3,2	5,4	8,5	13,1	5,8
Minimum	0,01	0,3	1,5.10 ²	1,5.10 ²	0,05					
Maximum	15,7	8515	2.10 ⁷	4,9.10 ⁶	54,1					

occasionner des niveaux de concentrations importants si les cycles de compostage sont courts et si les quantités de matières stockées sont importantes (site F). Sur le site D (campagne D2), un défaut de ventilation occasionnant un taux de renouvellement très faible pourrait expliquer l'augmentation importante des concentrations en polluants biologiques entre les campagnes de mesures D1 et D2 (Cf. Figure 2).

Mesures (prélèvements conventionnels sur filtre) individuelles pour l'ammoniac

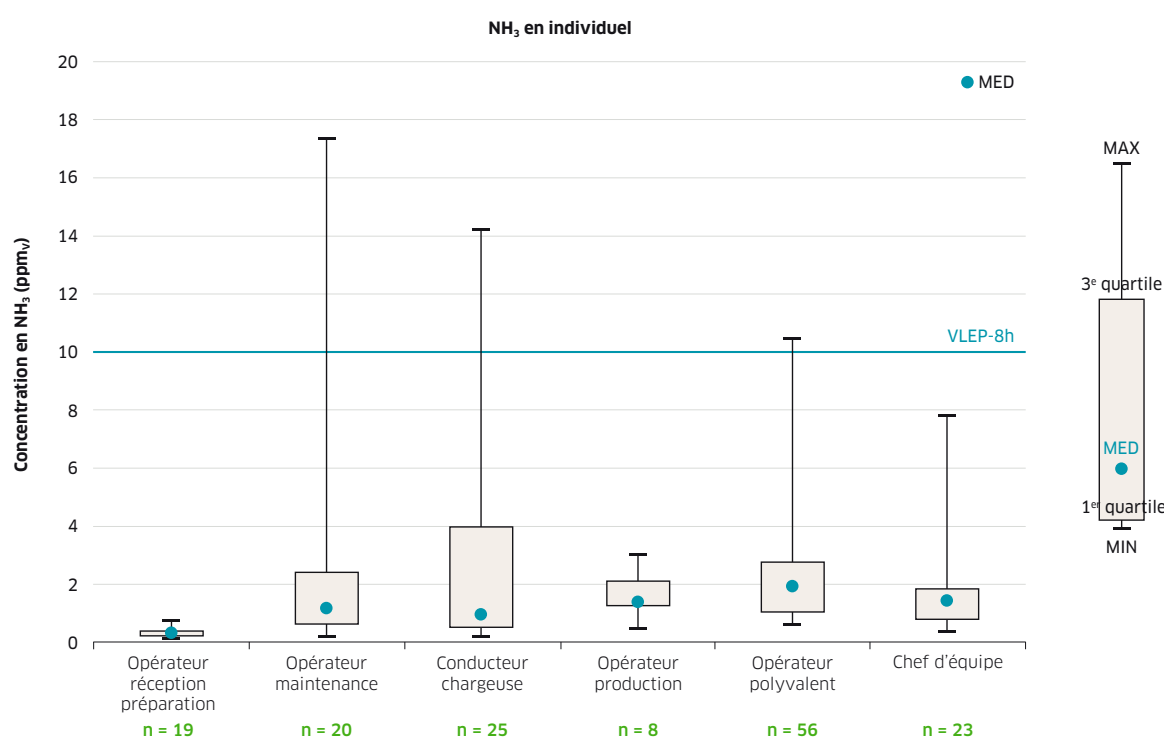
La Figure 3 montre les niveaux d'exposition individuelle en ammoniac qui ont été mesurés [12].

Dans les zones de réception, de préparation-tri et de structuration-déshydratation, les opérateurs interviennent régulièrement pour réaliser des vérifications, de la maintenance courante, ou pour gérer des dysfonctionnements. Les tunnels de compostage sont fréquentés par les conducteurs de chargeuses qui vidant et remplissent les tunnels, les opérateurs de maintenance lorsqu'une intervention est nécessaire, et les chefs d'équipe lors de leur ronde sur le site.

La Figure 3 met en évidence les éléments suivants :

- les valeurs mesurées en individuel pour les opérateurs évoluant dans les zones réception et préparation-tri sont très faibles (inférieures à 1 ppm_v) ;

↑ **TABLEAU 5**
Données statistiques toutes entreprises confondues pour chaque étape du procédé.



← **FIGURE 3**
Niveaux d'exposition individuelle en ammoniac, mesurés par prélèvement conventionnel sur filtre avec une analyse différée des échantillons au laboratoire, sur les opérateurs travaillant dans les six sites de méthanisation-compostage investigués.

- en ce qui concerne les opérateurs de la maintenance, les concentrations mesurées sont variables, en fonction des tâches réalisées et des zones fréquentées. Deux opérateurs de deux sites distincts ont été particulièrement exposés : un opérateur travaillant dans une zone de structuration-déshydratation très polluée en ammoniac (site D, campagne D1 ; Cf. Figure 2), et un autre opérateur intervenant dans une zone de tunnels de compostage (site C ; Cf. Figure 2). Plusieurs des valeurs mesurées ont dépassé la VLEP-8h pour ces deux opérateurs ;
- les conducteurs de chargeuses sont en général protégés par la filtration de leur cabine, à condition que les filtres soient correctement vérifiés et entretenus. Cependant, certains opérateurs ont occasionnellement des pratiques les conduisant à être exposés de manière significative à l'ammoniac et aux autres polluants présents. À titre d'exemple, une pratique courante consiste à stationner les chargeuses à l'intérieur des locaux pollués. Les opérateurs sont alors inutilement exposés lors de la montée ou de la descente du véhicule, alors qu'un stationnement à l'extérieur, ou à l'intérieur de locaux non pollués, permettrait d'éliminer cette exposition. Sur l'un des sites (site C ; Cf. Figure 2), les niveaux de concentration en ammoniac mesurés dans les chargeuses étaient élevés, trois valeurs dépassant la VLEP et une s'en approchant. Sur le site F, une concentration excédant la VLEP-8h a été mesurée : le conducteur portait un appareil de protection respiratoire (APR) lorsqu'il a quitté sa cabine pour intervenir en zone polluée ;
- les opérateurs de production évoluent dans toutes les zones du site. Ce poste était présent sur deux sites (A et F), et les concentrations mesurées étaient inférieures ou égales à 5 ppm_v soit 0,5 VLEP-8h ;

- les opérateurs polyvalents et les chefs d'équipe travaillent généralement sur l'ensemble du site. Comme dans les cas des opérateurs de maintenance, l'exposition globale durant le poste dépend des niveaux de pollution des zones de travail, et du temps passé dans chacune de ces zones. Sur le site D, une exposition importante à l'ammoniac a été relevée lors des deux campagnes de mesures menées (D1 et D2) : bien qu'une seule des valeurs mesurées ait excédé la VLEP-8h, de nombreuses concentrations mesurées étaient supérieures à 5 ppm_v soit 0,5 VLEP-8h pour ces deux postes.

Mesures (prélèvements conventionnels sur filtre) pour les autres agents chimiques

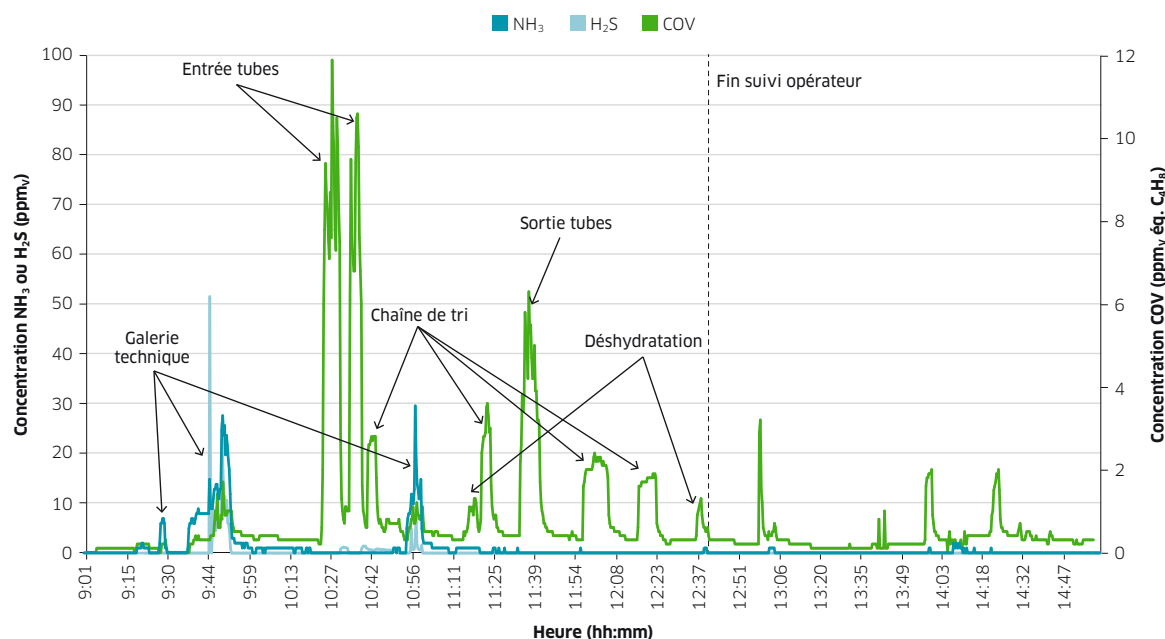
Outre les poussières (mesures en ambiance) et l'ammoniac (mesures en ambiance et en individuel) dont les résultats de mesures ont été présentés précédemment (Cf. Figures 2 et 3), d'autres composés chimiques ont été mesurés par prélèvements conventionnels : les COV (en ambiance et en individuel) avec un focus sur ceux attendus sur ce type de site, les métaux avec recherche des principaux (aluminium, cadmium, chrome, cuivre, manganèse, nickel, plomb, zinc) dans les poussières prélevées en ambiance, et N₂O en individuel (Cf. Tableau 3).

- Les COV sont présents en très faibles quantités, le plus souvent à des concentrations inférieures à 1 mg/m³. Les principaux COV détectés sur l'ensemble des sites sont le D-limonène (terpène), la MEK (méthyléthylcétone) et le 2-butanol (alcool). Ces composés ont été régulièrement mesurés à hauteur de quelques mg/m³, jusqu'à quelques dizaines pour le D-limonène notamment lors de l'arrivage de déchets verts. La MEK et le 2-butanol possèdent une VLEP-8h (Cf. Tableau 2).
- Les métaux sont présents également en très faibles quantités, de quelques dizaines voire centaines de

TABEAU 6 →
Résumé des ordres de grandeur des concentrations mesurées en temps réel pour six composés gazeux, en ambiance et/ou en individuel sur les différents sites de méthanisation-compostage.

POLLUANT	SUIVI AMBIANCE	SUIVI INDIVIDUEL	ZONES INVESTIGUÉES	ÉTENDUE DES CONCENTRATIONS DÉTECTÉES	SITES
CH ₄	✓	✓	-	-	-
CO	✓	X	Zones avec engins Préparation-tri Compostage Préparation-tri	5-10 ppm _v 10-20 ppm _v 30-70 ppm _v → 200 ppm _v *	Tous F D (D2) B
CO ₂	✓	X	Toutes zones	500-1 000 ppm _v → 2500 ppm _v	Tous
COV	✓	X	Préparation-tri	5-15 ppm _v → 35 ppm _v	Tous
H ₂ S	✓	✓	Entrée tubes préfermentation Compostage (enlèvement) Galerie technique (plenums)	2 ppm _v 2-15 ppm _v 30-70 ppm _v	F F F
N ₂ O	✓	X	Déshydratation (presses)	~35 ppm _v	D (D1)

* Maximum affiché par le détecteur mais possibles interférents parmi les COV potentiellement présents.
→ : « jusqu'à ». ~ : « autour de ».



← FIGURE 4
Suivi en temps
réel d'un agent
de production
sur le site F pour
trois polluants :
l'ammoniac (NH₃),
le sulfure de
dihydrogène (H₂S)
et les composés
organiques
volatils (COV).

µg/m³ pour l'aluminium, quelques µg/m³ pour le chrome, le cuivre, le manganèse, le nickel et le zinc, à quelques dixièmes de µg/m³ pour le cadmium et le plomb. Toutes les valeurs mesurées étaient inférieures à 0,1 VLEP-8h voire 0,01 VLEP-8h lorsqu'elles existent.

- Aucune concentration en N₂O n'a été mesurée sur l'ensemble des sites par les tubes de charbon actif utilisés en individuel sur les opérateurs.

Suivi en temps réel pour différents composés chimiques

Le Tableau 6 présente un résumé des résultats obtenus pour CH₄, CO, CO₂, les COV, H₂S et N₂O. Les résultats concernant la détection en temps réel de NH₃ ne figurent pas dans ce tableau, du fait de l'omniprésence de ce polluant sur les sites de méthanisation-compostage, en des quantités déjà présentées sur la Figure 3. Cependant les pics d'exposition détectés lors des différentes campagnes ont permis de formuler des recommandations de prévention auprès des opérateurs et des exploitants des différents sites.

- Malgré la production de biométhane, aucune concentration en méthane CH₄ n'a été détectée sur les sites, en ambiance comme en individuel.
- Le monoxyde de carbone CO a été mesuré de manière attendue à des teneurs de quelques ppm_v dans les zones où des engins évoluent. Pour les concentrations supérieures détectées (sites F, D, B), les résultats sont à prendre avec du recul car certains COV peuvent être des interférents du capteur de CO et le faire réagir, même en l'absence de CO.
- Le dioxyde de carbone CO₂ a été détecté à des concentrations moyennes de 500 à 1000 ppm_v

dans toutes les zones de tous les sites, avec un maximum de 2500 ppm_v.

- Les composés organiques volatils COV ont été principalement détectés en zone préparation-tri, probablement émis directement par les déchets triés, à des teneurs de 5 à 15 ppm_v en moyenne, avec un maximum à 35 ppm_v. À noter que l'ammoniac est un interférent des détecteurs à photo-ionisation (PID) utilisés pour la mesure des COV [13]; il est donc important de mettre en parallèle les profils de concentration en COV et en NH₃ pour l'interprétation. L'ammoniac étant à teneur quasi nulle en zone tri, la détection réalisée par le PID est imputable aux COV, ce qui n'est pas forcément le cas en zones déshydratation et compostage après méthanisation.
- Le sulfure d'hydrogène H₂S n'a été détecté que sur le site F au niveau de plusieurs zones : à l'entrée des tubes de préfermentation (tubes situés en amont de la partie préparation-tri et où les déchets subissent une première dégradation), au niveau de la zone compostage (pics de concentrations lors de l'enlèvement) et au niveau des plenums de la galerie technique (canalisations).
- Le protoxyde d'azote N₂O n'a été détecté qu'à une seule occasion, en zone déshydratation à hauteur d'environ 35 ppm_v sur le site D, sans confirmation possible par les tubes de zéolithe portés par les opérateurs.

Suivi en temps réel d'un opérateur et lien entre les pics d'exposition relevés et les activités/lieux

Afin d'illustrer la polyexposition de certains opérateurs à différents composés, tout en reliant les pics d'exposition observés à leurs activités ou aux



zones traversées, la *Figure 4* montre les profils de concentrations (NH₃, H₂S, COV) mesurées pour l'opérateur A du site F, agent de production, lors d'un jour de mesure.

L'opérateur A est un agent de production évoluant sur l'ensemble du site et pouvant être exposé à un certain nombre de polluants, dont les majoritaires pouvant être suivis en temps réel sont NH₃, H₂S et les COV. Durant la durée de son poste, il a pu être exposé aux COV (chaîne de séparation en préparation-tri ou au niveau des tubes de préfermentation en amont), ainsi qu'à NH₃ et H₂S lors de ses interventions en galerie technique sur les plenums (canalisations). Comme précédemment évoqué, les profils obtenus pour NH₃ et les COV doivent être placés en parallèle du fait des interférences possibles (l'absence de NH₃ lors des pics de COV permet de bien imputer la mesure donnée par le détecteur PID aux COV).

Synthèse et recommandations

Cette étude a permis de montrer une polyexposition des opérateurs à des agents biologiques et chimiques sur les sites de méthanisation-compostage, avec des expositions individuelles pouvant parfois dépasser la VLEP pour certains composés. À partir de l'ensemble des mesures et des observations faites sur les sites, des préconisations ciblées ont pu être réalisées, mais des préconisations générales ont également pu être dégagées :

- les systèmes de ventilation doivent être correctement conçus et entretenus (taux de renouvellement d'air suffisants, systèmes de captage localisés...), tous comme les différents dispositifs de gestion des déchets (convoyeurs couverts...) ;
- les moyens et systèmes de prévention doivent être suivis et contrôlés (maintenance des équipements tels que détecteurs en temps réel, caissons filtrants des chargeuses, appareils de protection respiratoire...) ;
- la maintenance et le nettoyage doivent être facilités (zones de plain-pied, systèmes de nettoyage correctement organisés...) ;
- les cycles de traitement des déchets doivent être suffisamment longs (notamment la partie compostage) afin de limiter les émissions résiduelles du produit fini, et les quantités de matière stockées dans les locaux doivent être limitées ;
- les différentes activités doivent être séparées afin d'éviter l'exposition des opérateurs par coactivité ;
- les opérateurs doivent être formés afin d'identifier les risques liés aux déchets et d'appliquer les consignes de sécurité lors de leur gestion. ●

1. Engin de chantier et de manutention motorisé, équipé d'un large godet à l'avant, conçu pour collecter, soulever, transporter et déverser des matériaux en vrac.

2. Voir : INRS – Base de données MétroPol. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>

BIBLIOGRAPHIE

[1] DIRRENBARGER P. – Méthanisation (Partie 2) : Technologies de digestion et procédés utilisés – État de l'art. *Techniques, sciences, méthodes*, 2020, 9, pp. 33-56.

[2] DIRRENBARGER P. – Méthanisation (Partie 1) : Principe, paramètres et polluants émis – État de l'art. *Techniques, sciences, méthodes*, 2020, 9, pp. 15-30.

[3] DAVID C. ET AL. – Valeurs guides bactériennes et moisissures cultivables : interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2023, 271, NT 109, pp. 55-63. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20109>

[4] BALTU I. ET AL. – Valeurs guides endotoxines : interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2015, 239, NT 25, pp. 46-50. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2025>

[5] INRS – Fiche toxicologique n° 16 – Ammoniac et solutions aqueuses. 2021. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_16

[6] INRS – Fiche toxicologique n° 267 – Protoxyde d'azote. 2025. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_267

[7] INRS – Fiche toxicologique n° 14 – Butanone ou méthyléthylcétone. 2020. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_14

[8] INRS – Fiche toxicologique n° 47 – Monoxyde de carbone. 2021. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_47

[9] INRS – Fiche toxicologique n° 238 – Dioxyde de carbone. 2020. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_238

[10] INRS – Fiche toxicologique n° 32 – Sulfure d'hydrogène. 2024. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_32

[11] BATAIS P. ET AL. – Mesure des poussières, des microorganismes et de l'ammoniac dans l'air des unités de méthanisation-compostage : zones concernées par la polyexposition et corrélation entre les paramètres mesurés. In : Congrès français sur les aérosols, Paris, 2024.

[12] BATAIS P. ET AL. – Occupational exposure to ammonia during industrial-scale anaerobic digestion composting of household waste. *Detritus*, 2024, 27, pp. 27-36.

[13] DIRRENBARGER P. ET AL. – Évaluation de l'exposition à l'ammoniac : apport de la détection en temps réel. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 252, NT 65, pp. 66-72. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2065

Participez à la recherche



Risques biologiques

→ Exposition professionnelle aux mycotoxines et effets sur la santé

Votre entreprise...

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

L'INRS a besoin de vous pour participer à une étude épidémiologique afin d'évaluer les expositions professionnelles à différentes toxines produites par ces champignons (on parle de mycotoxines¹) et d'analyser leurs effets potentiels sur la santé.

> Quels sont les objectifs de cette étude ?

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

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

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

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

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

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

> Comment se déroulera l'étude ?

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

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



Vous souhaitez participer ?

Contactez Valérie Demange : 03 83 50 98 05
valerie.demange@inrs.fr

ou Laurie Renaudin : 03 83 50 21 31
laurie.renaudin@inrs.fr

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



Base Colchic

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques et biologiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (Lic) des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 substances chimiques et agents biologiques.

PORTRAIT RÉTROSPECTIF DES EXPOSITIONS AU BENZÈNE EN FRANCE ENTRE 2016 ET 2025

Cet article présente un portrait des niveaux d'exposition professionnelle au benzène enregistrés dans la base de données Colchic entre 2016 et 2025. Il présente une évaluation des niveaux d'exposition par tâche.

JEAN-FRANÇOIS
SAUVÉ,
GAUTIER
MATER
INRS,
département
Métrologie
des polluants

Contexte

Le benzène, hydrocarbure aromatique, a été isolé pour la première fois en 1825 [1]. Son usage industriel s'est répandu au début du XX^e siècle, notamment comme solvant dans l'industrie manufacturière (fabrication de produits en caoutchouc, colles, peintures...) et comme intermédiaire dans la fabrication d'explosifs [2]. Cette utilisation répandue a progressivement été accompagnée d'observations d'atteintes à la santé, en particulier sur le système sanguin (leucémies, anémies aplasiques...), dont la prévention a joué un rôle important dans le développement de la santé au travail [2]. À titre d'exemple, le décret du 16 octobre 1939¹ portant sur les « mesures particulières d'hygiène applicables dans les établissements dont le personnel est exposé à l'intoxication benzolique » prévoit une liste de travaux réglementés et des mesures et obligations dont une surveillance médicale. Le tableau n° 4 des maladies professionnelles a été introduit en 1931 sous le nom de « Maladies causées par la benzine brute ou rectifiée² » et renommé depuis « Hémopathies provoquées par le benzène et tous les produits en renfermant³ », puis complété

en 1987 par le tableau n° 4 bis « Affections gastro-intestinales provoquées par le benzène, le toluène, les xylènes et tous les produits en renfermant ».

En dépit de cet historique, l'exposition au benzène demeure une problématique d'actualité en santé au travail. En 2017, l'enquête Sumer estimait que 51 000 salariés français étaient exposés au benzène en milieu de travail, et ce nombre est sous-estimé puisqu'il ne prend pas en compte les expositions provenant de carburants [3]. De plus, les statistiques de maladies professionnelles au cours des cinq dernières années montrent par exemple approximativement 30 cas reconnus par année d'hémopathies provoquées par le benzène et tous les produits en renfermant (tableau n° 4 du régime général) [4].

Pour ce qui a trait aux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) en France, une première valeur de 80 mg/m³ à ne pas dépasser sur la journée de travail a été fixée en 1973, faisant suite à la ratification de la Convention de l'Organisation internationale du travail n° 136 concernant la protection contre les risques d'intoxication dus au benzène [5]. Les VLEP ont par la suite été abaissées

Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'exposition professionnelle telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné.



© Gaël Kerbaol / INRS / 2013

progressivement, fixées à 16 mg/m^3 sur 8 heures (VLEP-8h) en 1986⁴, puis à $3,25 \text{ mg/m}^3$ en 1997. En 2018, le Comité d'évaluation des risques (RAC) de l'Agence européenne des produits chimiques (Echa) recommandait une VLEP-8h de $0,16 \text{ mg/m}^3$ [6]. À l'issue d'une consultation avec les partenaires sociaux, l'Union européenne a finalement adopté une VLEP-8h de $1,65 \text{ mg/m}^3$ à partir de 2024, puis l'a abaissée à $0,66 \text{ mg/m}^3$. Cette valeur est reprise dans le Code du travail français en tant que VLEP contraignante⁵.

Afin d'obtenir un portrait récent des niveaux d'exposition au benzène dans les milieux de travail français, cet article présente une analyse descriptive des concentrations enregistrées dans la base de données Colchic entre 2016 et 2025, correspondant aux dix dernières années complètes d'enregistrement. Une analyse complémentaire portant sur l'évolution temporelle des concentrations en benzène enregistrées dans la base Colchic depuis 1987 a également été menée.

Méthodes d'analyse

Les données de la base Colchic utilisées pour cette analyse ont été restreintes aux échantillons prélevés sur la période 1987 à 2025 dans la zone respiratoire des travailleurs à l'aide de badges passifs ou de tubes de charbon actif reliés à une pompe, sur une durée allant de 60 à 600 minutes pour comparer l'exposition à une VLEP-8h. Seuls

les échantillons analysés par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme ou par spectrométrie de masse selon les méthodes décrites dans les fiches MétroPol [7] M-40, M-237 et M-243 ont été retenus. Pour les analyses statistiques portant sur les dix dernières années d'enregistrement, des indices d'exposition (IE) ont été calculés dans l'objectif de faciliter la comparaison des distributions des niveaux d'exposition entre les différentes activités. Les IE représentent le ratio entre la concentration mesurée et la VLEP-8h pour le benzène. Une valeur d'IE supérieure à 1 signifie un dépassement de la VLEP-8h. Les IE ont été calculés, d'une part en prenant la valeur de la VLEP en vigueur à la date des prélèvements ($3,25 \text{ mg/m}^3$ jusqu'au 4 avril 2024 et $1,65 \text{ mg/m}^3$ après) et d'autre part, en utilisant la VLEP en vigueur depuis avril 2026 ($0,66 \text{ mg/m}^3$). Les valeurs dont la concentration est inférieure à la limite de quantification (LQ) ont été remplacées par LQ/2 dans le calcul des IE.

État des lieux des données Colchic

Au total, 2322 mesures d'exposition ont été retenues sur la base des critères de sélection, dont 401 pour les dix dernières années complètes d'enregistrement; 1234 mesures (53 %) ont été prélevées à l'aide d'un prélèvement actif combinant un tube de charbon et une pompe, comparativement à 1088 mesures (47 %) prélevées avec un badge passif.

Mesure de différents polluants dans le cadre de la dépollution et de la réhabilitation d'un ancien site chimique.



FIGURE 1 →
Évolution des moyennes géométriques et 95^{es} centiles des concentrations en benzène entre 1987 et 2025 (moyennes mobiles sur 5 ans).

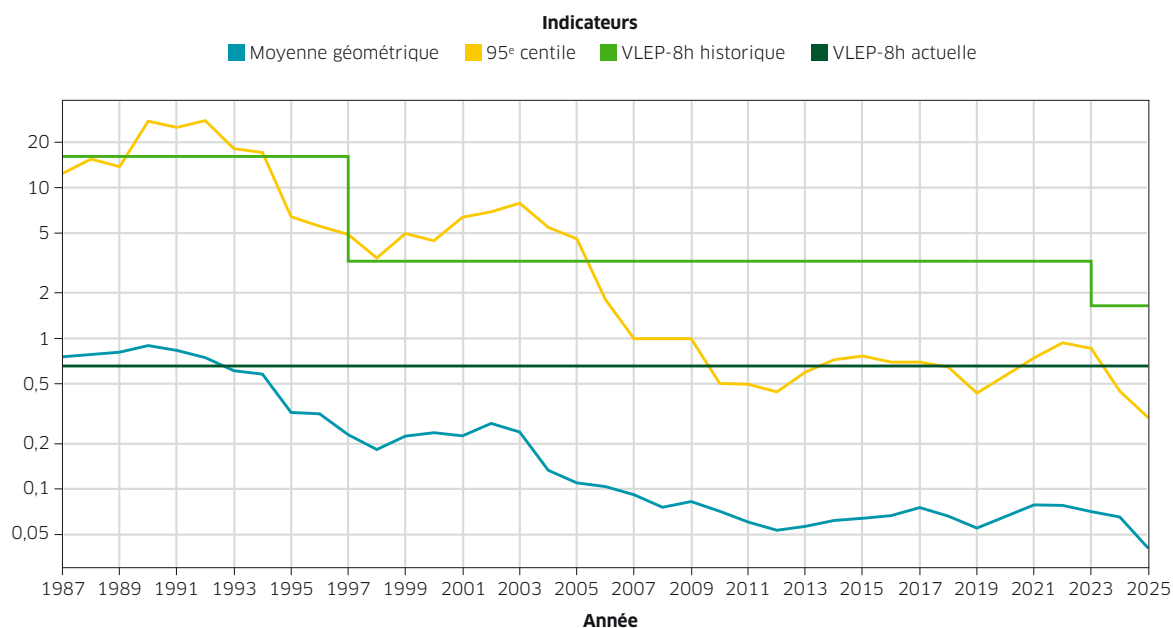
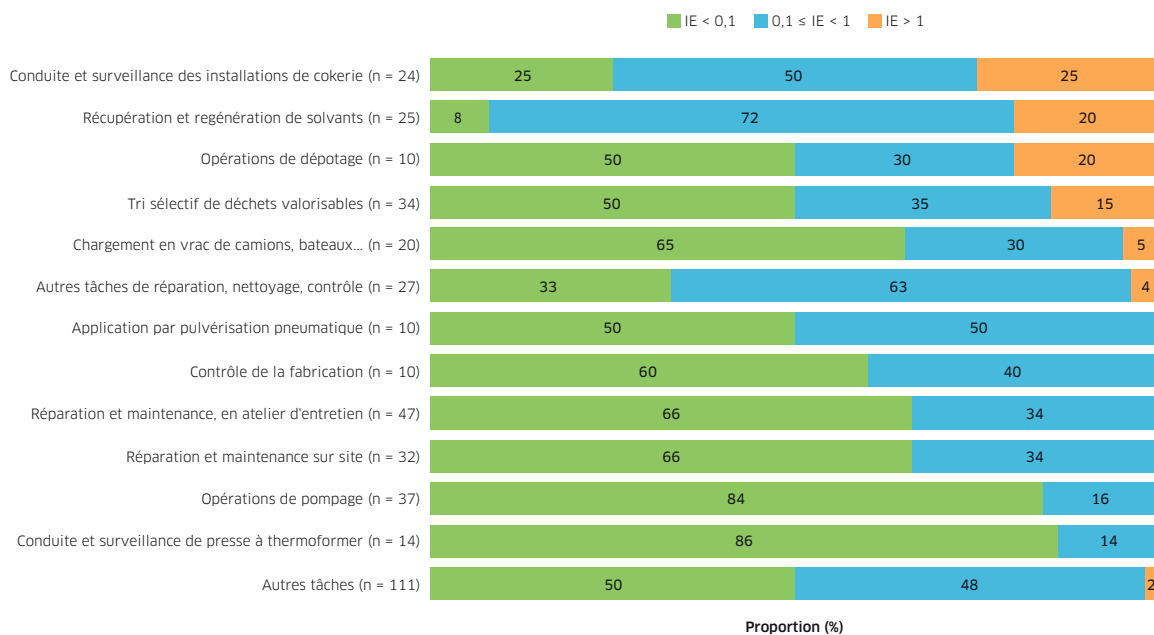


FIGURE 2 →
Distribution des indices d'exposition en benzène par tâche entre 2016 et 2025 en fonction de la valeur de la VLEP.



La Figure 1 présente l'évolution des moyennes géométriques et 95^{es} centiles des concentrations en benzène prélevées dans la zone respiratoire des salariés pour une durée comprise entre 60 et 600 minutes entre 1987 et 2025, ainsi que les VLEP en vigueur à l'époque et celle applicable depuis avril 2026. Les moyennes géométriques et 95^{es} centiles illustrés sur la Figure 1 correspondent à des moyennes mobiles sur cinq ans afin de tenir compte des fluctuations annuelles dans les situations de travail ayant fait l'objet de prélèvements. La Figure 1 montre que depuis le milieu des années 1990, les moyennes géométriques des concentrations en benzène sont inférieures à 0,66 mg/m³, correspondant à la VLEP en vigueur depuis avril 2026.

Pour les 401 mesures enregistrées entre 2016 et 2025, les expositions au benzène sont principalement dues à des carburants et combustibles tels que le kérosène, l'essence sans plomb, le fioul lourd et les déchets de carburants (n = 128), des solvants et diluants organiques (n = 57) et des gaz d'échappement de moteurs diesel ou à essence (n = 51). Au total, 22 mesures (5 %) dépassent la VLEP-8h actuelle de 0,66 mg/m³, comparativement à 4 (1 %) en utilisant les VLEP en vigueur à la date de prélèvement comme référence. 92 mesures (23 %) dépassent la VLEP-8h recommandée par le RAC de l'Echa de 0,16 mg/m³.

La Figure 2 présente la distribution des indices d'exposition au benzène par tâche pour les

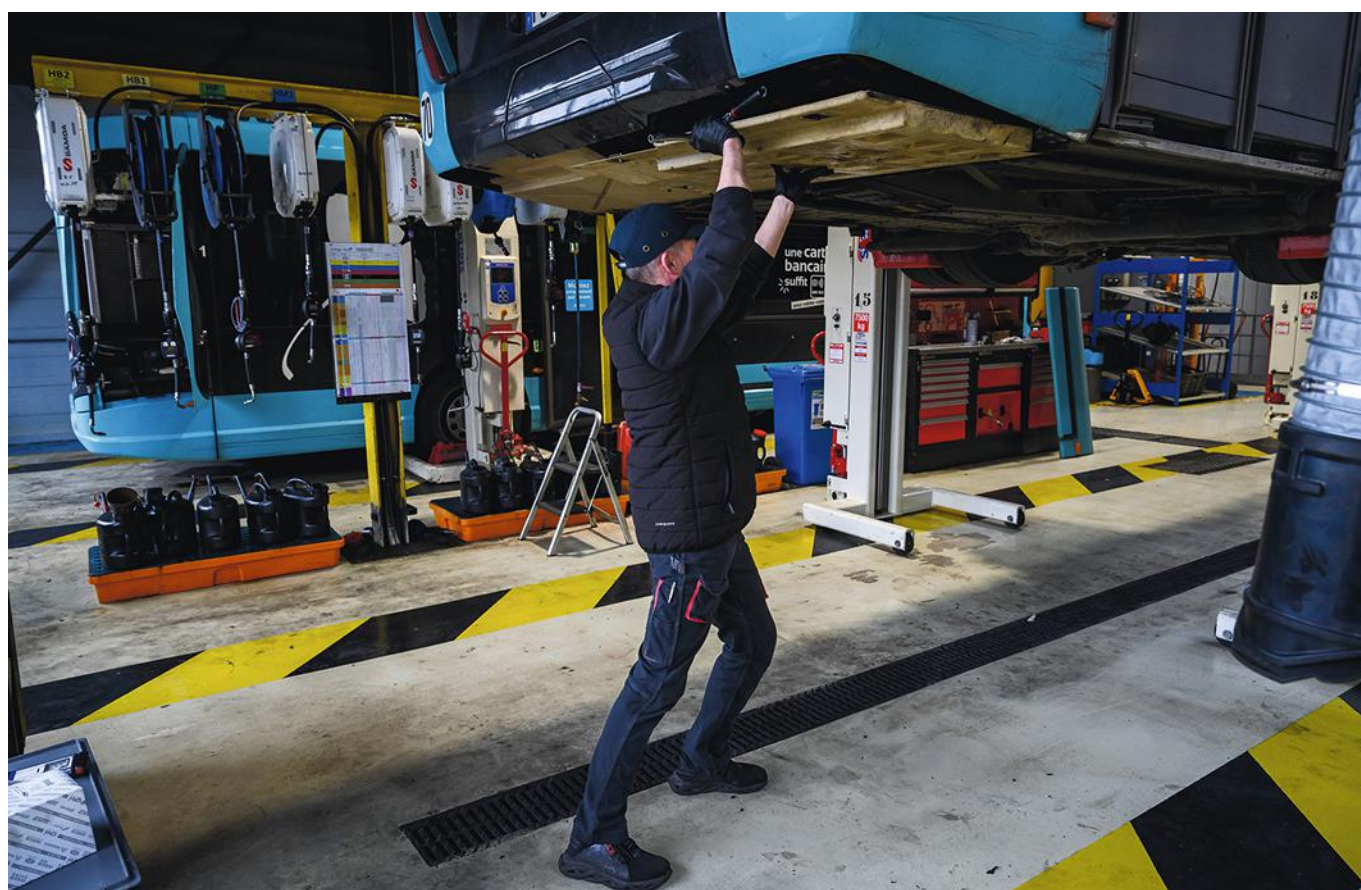
401 mesures enregistrées durant la période de 2016 à 2025, en prenant pour référence la VLEP-8h actuelle de $0,66 \text{ mg/m}^3$ pour évaluer si ces niveaux d'exposition seraient encore considérés comme « acceptables » aujourd'hui. Seules les tâches ayant au moins dix mesures enregistrées sont présentées; les tâches ayant moins de dix mesures ont été regroupées dans la catégorie « Autres tâches ». Comparativement aux VLEP en vigueur lors de la date de prélèvement, seules les tâches de régénération des solvants ou aux installations de récupération de composés organiques volatils et le tri sélectif des déchets valorisable montrent des dépassements. En utilisant plutôt comme référence la VLEP actuelle, six des 12 tâches répertoriées (en excluant la catégorie « Autres tâches ») ont au moins une concentration dépassant $0,66 \text{ mg/m}^3$. La proportion de dépassements la plus importante de la VLEP actuelle correspond à la conduite et surveillance d'installations de cokerie (25 %). Viennent ensuite les tâches associées à la régénération des solvants ou aux installations de récupération de composés organiques volatils, ainsi que les opérations de dépotage (comme celles des camions ou des citernes), toutes deux avec 20 % de dépassements. Finalement, cinq des 34 mesures (15 %) correspondant au tri sélectif de déchets valorisables présentent des concentrations supérieures à la

VLEP-8h de $0,66 \text{ mg/m}^3$, toutes associées au secteur de la collecte des déchets dangereux.

Discussion

Ce portrait a permis de mettre en évidence une diminution graduelle des concentrations en benzène dans les milieux de travail français depuis la fin des années 1980. Une analyse précédente des données de la base Colchic portant sur les mesures enregistrées entre 2003 et 2010 avait également mis en évidence cette tendance à la baisse sur cette période plus restreinte [8]. Des concentrations supérieures à la VLEP-8h actuelle de $0,66 \text{ mg/m}^3$ sont néanmoins observées parmi les mesures enregistrées au cours des dix dernières années pour certaines tâches associées à des installations de cokerie dans le secteur de la sidérurgie, à la récupération et à la régénération de solvants, à des opérations de dépotage et à la collecte et au tri de déchets dangereux. Alors que l'ensemble des dépassements pour les installations de cokerie et les tâches de dépotage et de chargement ont été mesurés sur des salariés équipés de protection respiratoire appropriée, la présence de protection respiratoire n'a pas été identifiée chez les salariés pour les autres tâches. Or, pour les agents CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques), cette absence de protection respiratoire lors de travaux exposant à des

Atelier
de maintenance
d'un parc
de bus de ville.



© Gael Kerbaol / INRS / 2023



concentrations dépassant la VLEP-8h est d'autant plus préoccupante que ces substances présentent des risques irréversibles (cancers, mutations génétiques, troubles de la reproduction), même en cas de faible exposition: on parle d'un effet sans seuil sur la santé des travailleurs. Ainsi, le Code du travail exige une évaluation rigoureuse du risque chimique (Cf. Articles R. 4412-61 et suivants), la mise en œuvre de mesures de prévention collectives (systèmes clos, confinement, ventilation) en priorité et, si nécessaire, la mise en place de protections respiratoires adaptées (articles R. 4412-66 et suivants). Le Code du travail précise également l'obligation de substituer les agents CMR dès que cela est techniquement possible, et impose une surveillance médicale renforcée (article R. 4624-22) pour détecter précocement tout effet néfaste. La proportion de mesures avec une concentration supérieure à la VLEP-8h actuelle de 0,66 mg/m³ est relativement faible (5 %), en particulier comparativement à l'état des lieux précédent sur la période 2003-2010, pour laquelle 34 % des résultats dépassaient la VLEP-8h établie à 3,25 mg/m³ à l'époque. Il est important de noter toutefois que près du quart des mesures enregistrées entre 2016 et 2025 sont supérieures à la recommandation de l'Echa de 0,16 mg/m³. Cette valeur, basée sur la prévention d'effets génotoxiques pour ce cancérigène sans seuil, n'a pas été retenue dans la réglementation. La VLEP-8h actuelle représente donc un objectif réglementaire, mais la valeur recommandée par l'Echa constitue un objectif plus approprié pour interpréter les résultats de mesures

d'exposition pour la prévention des maladies professionnelles associées à l'exposition au benzène. Cette exploitation des données de la base Colchic ne concerne que l'exposition au benzène dans l'air des milieux de travail. Or, cette substance présente également un risque d'exposition par voie cutanée [9]. La biométrie constitue une approche complémentaire qui permet de tenir compte de ces deux voies d'exposition. La base Biotox de l'INRS [10] recense quatre méthodes d'évaluation comprenant le benzène urinaire et sanguin, ainsi que le dosage de deux métabolites du benzène dans l'urine. Le choix de l'indicateur d'exposition approprié doit prendre en compte les niveaux d'exposition attendus dans l'environnement de travail et de possibles interférences par le tabagisme et l'alimentation. ●

1. Texte abrogé et remplacé en 1986.
Voir: www.legifrance.gouv.fr

2. Loi du 1^{er} janvier 1931 modifiant et complétant la loi du 25 octobre 1910 étendant aux maladies professionnelles la loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail.

3. Décret n°46-2959 du 31 décembre 1946 relatif à l'application des dispositions du livre IV du Code de la Sécurité sociale. Voir aussi: Bases de données de l'INRS – Maladies professionnelles. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/publications/bdd/mp.html>

4. Décret n° 86-269 du 13 février 1986 relatif à la protection des travailleurs exposés au benzène.

5. Décret n° 2024-307 du 4 avril 2024 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour certains agents chimiques et complétant la traçabilité de l'exposition des travailleurs aux agents chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction.

BIBLIOGRAPHIE

[1] CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE SUR LE CANCER – Benzène. Coll. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to Humans, 2018, n° 120. Accessible sur: <https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Benzene-2018>

[2] INFANTE P. – Benzene: an historical perspective on the American and European occupational setting. In: HARREMOES P. ET AL. (éds) – Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000. Copenhagen, European Environmental Agency, 2001, pp. 38-47.

[3] ROSANKIS E., LÉONARD M. – Les expositions aux produits chimiques cancérogènes en 2017. Résultats de l'enquête SUMER. *Références en santé au travail*, 2022, 172, pp. 43-51.

[4] ASSURANCE MALADIE – RISQUES PROFESSIONNELS – Rapport annuel 2024 de l'Assurance Maladie – Risques professionnels. 2025. Accessible sur: <https://www.assurance-maladie.ameli.fr/etudes-et-donnees/2024-rapport-annuel-assurance-maladie-risques-professionnels>

[5] BUREAU INTERNATIONAL DU TRAVAIL – Convention internationale n° 136 – Benzène, 1971. Accessible sur: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=1000:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID,P12100_LANG_CODE:312281,fr:NO

[6] EUROPEAN CHEMICAL AGENCY COMMITTEE FOR RISK ASSESSMENT – Opinion on scientific evaluation of occupational exposure limits for Benzene, 2018. Accessible sur: https://Echa.europa.eu/documents/10162/13641/benzene_opinion_en.pdf/4fec9aac-9ed5-2aae-7b70-5226705358c7

[7] INRS – Base de données Métropol. 2026. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>

[8] BERTRAND N., CLERC F. – Panorama des expositions professionnelles à des composés organiques volatils entre 2003 et 2010. *Hygiène & sécurité du travail*, 2011, 225, pp. 31-44.

[9] INRS – Benzène. Fiche toxicologique n° 49. 2024. Accessible sur: https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_49

[10] INRS – Base de données Biotox. 2026. Accessible sur: <https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>

Participez à la recherche



Bruit

→ Étude sur l'exposition au bruit en très hautes fréquences et aux ultrasons basses fréquences

Votre entreprise utilise des appareils générant des sons de très hautes fréquences audibles (THF : de 10 à 20 kHz) ou des ultrasons basses fréquences (USBF : de 20 à 30 kHz) : découpeuses (surgelés, charcuterie, confiseries, marqueterie, etc.), soudeuses métalliques ou thermoplastiques, bains nettoyants, ou tout autre appareil ou machine générant des fréquences supérieures à 10 kHz.

L'INRS a besoin de vous

pour évaluer l'exposition aux bruits THF et USBF des salariés travaillant à proximité des appareils générant des fréquences supérieures à 10 kHz. L'objectif est de collecter des données de terrain visant à mieux caractériser les situations d'exposition aux THF/USBF et à développer un protocole d'évaluation des risques correspondants. Cette évaluation comprendra des mesures d'exposition au bruit, des évaluations de l'audition des salariés, ainsi que des réponses à des questionnaires.

> Comment se déroulera l'étude ?

Les personnes en charge de l'étude rencontreront les entreprises souhaitant participer, pour leur présenter précisément le protocole d'intervention. Avec l'accord de l'entreprise et des salariés volontaires, l'étude se déroulera en deux temps :

- en amont des mesures, les participants devront répondre à des questionnaires en lien avec leur audition et leur sensibilité au bruit ;
- les personnes seront équipées de façon non contraignante d'un système de mesure de l'environnement sonore. Avant et après le poste de travail, il sera demandé aux participants de passer des tests audiométriques et de répondre à de courts questionnaires. Durant le poste, des mesures complémentaires seront effectuées par l'INRS pour qualifier au mieux l'émission sonore des machines et pouvoir, le cas échéant, proposer des solutions d'amélioration. Enfin, si l'activité le permet, le salarié pourra répondre à un questionnaire très court (1 minute) pendant son poste, pour qualifier son ressenti durant l'exposition.

L'intervention sera réalisée de façon à ne pas perturber l'activité. Les données recueillies, dont le seul but est de faire progresser les connaissances sur les THF/USBF,

seront anonymisées avant traitement. Les résultats des mesures, leur analyse ainsi que de possibles conseils, pourront être communiqués à l'entreprise *via* un rapport de synthèse et/ou une réunion de restitution.



Vous souhaitez participer ?

Contactez Jonathan Terroir
03 83 50 20 00 • etudeTHF@inrs.fr
INRS, département Ingénierie des équipements de travail
1, rue du Morvan, CS 60027,
54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex



Scannez
ce QR-code
pour plus
d'informations



Agenda & services

Formation

Catalogue des formations 2027 :
accompagner le développement
des compétences en prévention

P. 107

Les « notions essentielles » :
une nouvelle collection
d'autoformations de l'INRS

P. 108

Agenda / Formations

P. 110

Congrès

Agenda / Événements

P. 112

Sélection bibliographique

À lire, à voir

P. 114

Formation

CATALOGUE DES FORMATIONS 2027 : ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES EN PRÉVENTION

Face à l'évolution des risques professionnels et des organisations du travail, le développement des compétences constitue un levier essentiel de la prévention. Le catalogue 2027 de l'INRS enrichit son offre de formation avec de nouveaux parcours destinés à accompagner les entreprises et les acteurs de la prévention dans leurs pratiques.

AURÉLIE
PÉRISSE
INRS,
département
Formation

Une offre couvrant les principaux domaines de la prévention

Élaboré à partir des travaux scientifiques conduits par l'INRS et des retours d'expérience des professionnels, le catalogue 2027 rassemble plus de soixante formations couvrant les principaux champs de la prévention des risques professionnels. Destinée aux préventeurs, formateurs, professionnels des services de prévention et de santé au travail, responsables des ressources humaines, encadrants et salariés, cette offre permet de développer les compétences nécessaires à la mise en œuvre de démarches de prévention adaptées aux réalités des entreprises.

Les formations proposées par l'INRS abordent aussi bien les fondamentaux de la prévention que les méthodes d'analyse des risques, l'organisation de la prévention en entreprise, les risques professionnels spécifiques ou encore les problématiques en santé au travail propres à certains secteurs d'activité. Ces formations privilégient des modalités d'apprentissage qui assoient des apports méthodologiques, études de cas, mises en situation et échanges de pratiques afin de favoriser le transfert des acquis dans les situations de travail.

Des formations pour accompagner les nouveaux enjeux

Le catalogue 2027 s'enrichit de plusieurs nouvelles formations répondant à l'évolution des besoins en prévention. Trois stages destinés aux préventeurs sont consacrés aux travaux en milieu hyperbare, au travail de nuit et à la prévention des risques psychosociaux.

L'offre destinée aux formateurs évolue également avec la création de nouveaux parcours certifiants consacrés à la prévention des risques liés à l'amiante et des risques psychosociaux. Le catalogue intègre par ailleurs la nouvelle formation de maintien et d'actualisation des compétences pour les formateurs, les animateurs prévention et les dirigeants des secteurs de l'aide et du soin à domicile, du sanitaire et médico-social, ainsi que du transport et de la logistique.

Des modalités adaptées aux besoins des entreprises

Les formations sont proposées, selon les cas, en présentiel, à distance ou en format hybride, afin de faciliter leur accès et de tenir compte des contraintes d'organisation des entreprises. L'INRS recommande de les intégrer au plan de développement des compétences afin qu'elles s'inscrivent pleinement dans les démarches de prévention mises en œuvre au sein des organisations. ●

POUR EN SAVOIR +

• *Le catalogue des formations 2027 de l'INRS est disponible sur le site de l'INRS. Il présente l'ensemble des formations proposées, ainsi que les modalités d'inscription.*

<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%201472>

<https://www.inrs.fr/formation.html>

Formation

LES « NOTIONS ESSENTIELLES » : UNE NOUVELLE COLLECTION D'AUTOFORMATIONS DE L'INRS

L'INRS enrichit son offre de formation avec une nouvelle collection d'autoformations en ligne intitulée « Notions essentielles ». Accessible sur sa plateforme d'e-formation, cette collection vise à faciliter l'acquisition des connaissances fondamentales en santé et en sécurité au travail. Elle propose des modules consacrés aux principes généraux de prévention ainsi qu'à plusieurs risques professionnels. Destinée à un large public, elle a vocation à s'enrichir progressivement de nouvelles thématiques.

“ESSENTIAL CONCEPTS”: A NEW COLLECTION OF INRS SELF-STUDY COURSES – *INRS is expanding its training provision with a new collection of online self-study courses entitled “Essential Concepts” [“Notions essentielles”]. Available on its e-learning platform, this collection aims to facilitate the acquisition of fundamental occupational health and safety knowledge. It offers modules dedicated to general prevention principles as well as to several occupational risks. Aimed at a wide audience, the collection is set to be gradually expanded to include new topics.*

AURÉLIE
PÉRISSE
INRS,
département
Formation

Le développement d'une culture de prévention repose sur le partage de connaissances communes entre les différents acteurs de l'entreprise. Pour accompagner cette montée en compétence, l'INRS met à disposition en libre accès la collection « Notions essentielles », qui propose des modules permettant d'acquérir les principaux repères nécessaires à la compréhension des risques professionnels et des actions à mettre en œuvre pour les prévenir.

Acquérir un socle commun de connaissances

La prévention des risques professionnels mobilise des acteurs aux responsabilités et aux niveaux d'expertise variés. Si leurs besoins de formation diffèrent, tous doivent partager un socle commun de connaissances sur les mécanismes d'apparition des risques, leurs conséquences et les principes permettant de les prévenir. « Les évolutions des organisations du travail et l'apparition de nouveaux risques renforcent le besoin de diffuser largement les connaissances essentielles en santé et en sécurité au travail. Les outils numériques permettent aujourd'hui de rendre ces ressources plus facilement accessibles », déclare Gérard Moutche, chef du département Formation à l'INRS.

La collection « Notions essentielles » répond à cet objectif en proposant des modules courts (d'une heure à trois heures) pouvant être suivis de manière autonome et à son rythme. Les modules s'adressent principalement aux préventeurs, aux professionnels des services de prévention et de santé au travail (SPST) ainsi qu'aux formateurs en santé au travail.

CONTRIBUER À LA COHÉRENCE DES ACTIONS

« Les démarches de prévention associent aujourd'hui des acteurs aux profils très divers. Disposer d'un socle commun de connaissances facilite les échanges et contribue à la cohérence des actions engagées dans les entreprises. Ces autoformations ont été conçues pour répondre à cet objectif, tout en laissant à chacun la possibilité de construire un parcours adapté à ses besoins », explique Nicolas Fauvel, responsable du pôle Ressources plurimodales et appui aux projets au sein du département Formation de l'INRS.



© INRS

disposant de connaissances préalables en prévention des risques professionnels. Ils proposent un approfondissement des connaissances et contribuent au renforcement des compétences nécessaires à l'exercice de leurs missions. Tout salarié ayant besoin dans son activité de mieux connaître des fondamentaux en santé et sécurité au travail est invité à se former avec cette collection d'autoformations.

Une offre d'autoformation accessible à tous

Les autoformations sont en libre accès sur la plateforme d'e-formation de l'INRS et peuvent être suivies en toute autonomie. Elles combinent différents supports pédagogiques – vidéos, animations, illustrations, activités interactives et exercices d'autoévaluation – afin de favoriser l'acquisition progressive des connaissances.

Leur format, d'une durée d'une à quelques heures, permet une utilisation souple, compatible avec les contraintes d'organisation des entreprises comme avec les besoins des apprenants. Chaque module se conclut par une évaluation des acquis donnant lieu, en cas de réussite, à la délivrance d'une attestation de réussite.

Quatre premiers modules disponibles

Les premiers modules portent sur les notions essentielles de la prévention des risques professionnels ainsi que sur trois familles de risques fréquemment rencontrés en entreprise : les risques biologiques, le bruit et les troubles musculosquelettiques. Chacun présente les mécanismes d'exposition, les effets sur la santé ainsi que les principales mesures de prévention. Les modules peuvent être suivis indépendamment les uns des autres selon les besoins des apprenants.

Une collection appelée à se développer

De nouvelles autoformations viendront compléter la collection afin d'accompagner l'évolution des besoins des entreprises. Elles aborderont d'autres

LA COLLECTION « NOTIONS ESSENTIELLES » EN BREF

- Autoformations gratuites, accessibles sur la plate-forme d'e-formation de l'INRS.
- Autoformations à suivre en autonomie*.
- Évaluation finale et attestation de réussite.
- Quatre premiers modules disponibles : prévention des risques professionnels, risques biologiques, bruit et troubles musculosquelettiques.
- De nouveaux modules seront prochainement accessibles, notamment sur les risques psychosociaux, les risques liés aux machines, les risques chimiques et les pratiques addictives.

* Si vous vous inscrivez à cette formation dans le cadre du plan de formation de votre entreprise, elle doit être suivie de préférence pendant le temps de travail. Veuillez vous rapprocher de votre employeur pour organiser au mieux ce temps de formation.

thématiques majeures de la prévention, telles que les risques psychosociaux, les risques liés aux machines ou encore les risques chimiques et les pratiques addictives.

En développant cette nouvelle collection, l'INRS met à disposition des préventeurs des ressources pédagogiques complémentaires à son offre de formation, de façon à favoriser la diffusion des connaissances essentielles en santé et sécurité au travail. ●

POUR EN SAVOIR +

- Les autoformations de la collection « Notions essentielles » sont proposées en libre accès sur la plate-forme d'e-formation de l'INRS. Les contenus, les modalités pédagogiques et les conditions d'accès sont consultables à l'adresse suivante : <https://www.eformation-inrs.fr/page/notions-essentielles>

AGENDA / FORMATIONS

Évaluer et prévenir les risques liés aux rayonnements optiques artificiels (CA0570)

Du 16/11 au 18/11/2026, à l'INRS (Vandœuvre-lès-Nancy).

→ PUBLIC

Ingénieurs, techniciens, préventeurs, hygiénistes industriels et acteurs des services de prévention.

→ OBJECTIF

Identifier les situations d'exposition aux rayonnements optiques artificiels et mettre en œuvre les mesures de prévention adaptées.

→ INFORMATIONS PRATIQUES

Durée: 2,5 jours

Coût: 828 € nets (exonération de TVA).

Évaluer et prévenir les risques biologiques, chimiques et radiologiques rencontrés en laboratoire de recherche en biologie (JJ2431)

Du 3/11 au 6/11/2026, à l'INRS (Paris).

→ PUBLIC

Personnels de laboratoires de recherche, ingénieurs, techniciens, responsables HSE et préventeurs.

→ OBJECTIF

Mettre en œuvre une démarche de prévention des risques biologiques, chimiques et radiologiques liés aux activités de laboratoire.

→ INFORMATIONS PRATIQUES

Durée: 3,5 jours

Coût: 1 159 € nets (exonération de TVA).

Évaluer et améliorer l'environnement sonore dans les open spaces (J@0540)

Du 19/10 au 27/11/2026 en distanciel et du 7/12 au 9/12/2026 en présentiel à l'INRS (Vandœuvre-lès-Nancy).

→ PUBLIC

Préventeurs d'entreprise, ergonomes, ingénieurs et techniciens, acteurs des services de prévention et de santé au travail.

→ OBJECTIF

Évaluer l'ambiance sonore des espaces de bureaux ouverts et proposer des solutions d'amélioration adaptées.

→ INFORMATIONS PRATIQUES

Durée: 24,5 heures

Coût: 866 € nets (exonération de TVA).

Évaluer et améliorer l'éclairage des lieux de travail (JJ0531)

Du 23/11 au 26/11/2026, à l'INRS (Vandœuvre-lès-Nancy).

→ PUBLIC

Ingénieurs, techniciens, préventeurs, ergonomes et acteurs des services de prévention et de santé au travail.

→ OBJECTIF

Évaluer la qualité de l'éclairage des lieux de travail et proposer des améliorations favorisant la santé, la sécurité et les conditions de travail.

→ INFORMATIONS PRATIQUES

Durée: 3 jours

Coût: 994 € nets (exonération de TVA).

POUR EN SAVOIR +

Renseignements, inscriptions:

- INRS, département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir, 75011 Paris
E-mail: secretariat.forp@inrs.fr

- Retrouvez toute l'offre de formation de l'INRS sur: www.inrs.fr/formation.html



Formations 2027

Santé et sécurité au travail

Préventeurs, formateurs, consultez le catalogue
Formations 2027 – Santé et sécurité au travail



Pour en savoir plus :
www.inrs.fr/services/formation

AGENDA/ ÉVÉNEMENTS



**15 OCTOBRE 2026, 11 H – 12 H,
EN LIGNE**

Webinaire – Désinfection des surfaces
de travail : quand et comment ?

Renseignements – inscriptions :

+ <https://www.inrs.fr/footer/agenda/webinaire-desinfection-15-10-2026.html>



**10 NOVEMBRE 2026, 11 H – 12 H,
EN LIGNE**

Webinaire – Horaires atypiques : quelle
organisation du travail pour quels effets ?

Renseignements – inscriptions :

+ <https://www.inrs.fr/footer/agenda/webinaire-horaires-atypiques-10-11-2026.html>



**24 NOVEMBRE 2026, 9 H 30 – 17 H,
PARIS**

Journée technique – Vingt ans de prévention
des risques psychosociaux : quelles avancées
sur le terrain ?

Renseignements – inscriptions :

+ <https://rps2026.inrs.fr/>



**28 ET 29 JANVIER 2027, 9 H 30 – 17 H,
PARIS ET EN LIGNE**

Symposium international Amiante –
Prévention et maîtrise du risque dans le BTP

Renseignements – inscriptions :

+ <https://www.inrs.fr/footer/agenda/symposium-amiante-28-01-2027.html>

POUR EN SAVOIR +

- Retrouvez l'ensemble des manifestations sur la santé et la sécurité au travail recensées par l'INRS sur : www.inrs.fr/footer/agenda.html



DDVVVVVVVVVVVVCHIKCH
CHIKC

CHIK

AU TRAVAIL LE BRUIT, ON EN PARLE ?

Stress, irritabilité, fatigue...
Le bruit paraît anodin,
mais ses effets ne le sont pas.

Plus d'informations sur :

www.bruitautravail.fr



Sélection bibliographique

À LIRE, À VOIR

Les publications de l'INRS sont consultables et téléchargeables sur : [www.inrs.fr/Rubrique Ressources](http://www.inrs.fr/Rubrique_Ressources) > « Vient de paraître » (papier / Web), « À visionner » (vidéos) et « Outils » (en bas de page).



Prérogatives et missions du CSE et de la CSSCT en matière de santé et sécurité au travail

INRS, 2026, Aide-mémoire juridique, TJ 30 (accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TJ%2030>; *nouveauté*).

Cet aide-mémoire juridique a pour objectif d'apporter un éclairage complet et des repères juridiques et pratiques sur les prérogatives et les missions du CSE en matière de santé et de sécurité au travail.



Comment bien utiliser son appareil de protection respiratoire ?

INRS, 2026, Dépliant, ED 6559 (accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206559>; *nouveauté*).

Pour garantir une protection optimale, les appareils de protection respiratoire (APR) doivent être correctement portés et ajustés. Ce dépliant liste les principales consignes pour sélectionner le modèle d'APR adapté à son utilisateur. Il présente la démarche à suivre pour mettre en place son APR et le retirer sans se contaminer. L'essai d'ajustement et le contrôle d'étanchéité y sont également décrits.



Risque bruit, s'informer pour prévenir - Catalogue des productions

INRS, 2026, Brochure, ED 4708 (accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204708>; *nouveauté*).

La principale mission de l'INRS est d'informer sur la prévention des risques professionnels et l'amélioration des conditions de travail. Ce catalogue vous propose l'essentiel de nos productions (brochures, dépliant, affiches, vidéos, dossiers web...) sur la prévention des risques liés au bruit.

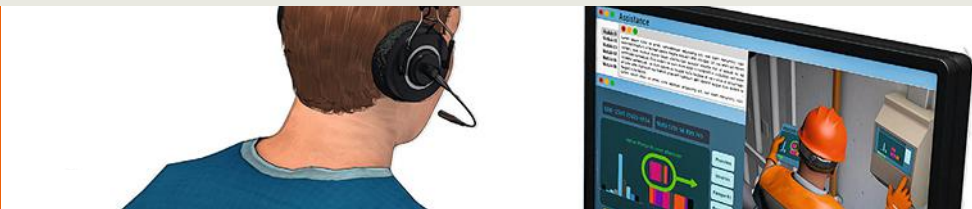


Temps partiel thérapeutique et prévention des risques professionnels: rôles des différents acteurs

INRS, 2026, Focus juridique (accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/juridique/focus-juridiques/focus-juridique-temps-partiel-therapeutique.html>; *nouveauté*).

Le temps partiel thérapeutique permet de concilier l'organisation de l'activité professionnelle du salarié amené à en bénéficier, avec l'exigence de préserver sa santé et sa sécurité. Sa mise en œuvre suppose une étroite collaboration entre les différents acteurs concernés, chacun devant en maîtriser les modalités afin d'en garantir le bon déroulement.

Participez à la recherche



Organisation de la maintenance et prévention

→ Visio-assistance d'un personnel sur place par un expert de maintenance à distance : quelles pratiques ?

Votre entreprise...

- propose un service d'assistance à distance à des entreprises clientes ou sous-traitantes, grâce à un système de visio-assistance, pour la réalisation d'activités de maintenance d'équipements de travail, de machines ou d'installations, que vous concevez, produisez, louez ou maintenez ;
- et/ou utilise un système de visio-assistance, permettant à vos salariés d'être assistés à distance, par un expert de maintenance interne ou extérieur à votre entreprise, dans la réalisation d'activités de maintenance sur vos équipements de travail, machines ou installations.

L'INRS a besoin de vous

L'INRS souhaite mieux connaître les pratiques de visio-assistance d'un personnel sur place par un expert de maintenance à distance, ainsi que les organisations du travail associées, afin de proposer des pistes de prévention adaptées à ces situations de travail.

> Comment se déroulera l'étude ?

Dans un premier temps, l'équipe de l'INRS (deux à trois personnes) cherchera à identifier les motivations ayant conduit à mettre en place de telles situations d'assistance, les fonctionnalités des systèmes de visio-assistance utilisés, l'organisation du travail instaurée et les avantages et inconvénients éventuels perçus. Pour cela, des entretiens seront menés avec les différentes parties prenantes : responsables, coordinateurs et techniciens de maintenance, personnels de production, etc.

Dans un second temps, des observations de ces situations d'assistance et des activités des personnels impliqués seront réalisées. À l'issue de ces situations d'assistance, des débriefings seront effectués avec les salariés concernés, autant que possible à leur poste de travail. Les activités de travail habituelles des différents personnels ne seront pas modifiées.

Les données recueillies seront anonymisées et les résultats, traités collectivement, feront l'objet d'une restitution aux entreprises partenaires (diagnostic de la situation, proposition de pistes de prévention).



Vous souhaitez participer ?

Contactez Corinne Grusenmeyer : 03 83 50 21 66

corinne.grusenmeyer@inrs.fr

INRS, département Sciences appliquées
au travail et aux organisations

1, rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex



Veille & prospective

Prospective

Santé et travail en 2040

P.117

SANTÉ ET TRAVAIL EN 2040

Anticiper les changements à venir en santé et sécurité des travailleurs

L'Institut pour le travail et la santé (*Institute for Work & Health, IWH, Canada*)¹ a conduit en 2025 un exercice de veille prospective sur les transformations possibles du travail à l'horizon 2040 et leurs implications pour la santé, la sécurité et le bien-être au travail. Pour conduire cette démarche, l'IWH a mobilisé des experts en prospective (*Creative Futures Studio inc.*) et 18 représentants d'organismes de recherche en santé et sécurité au travail (SST) du Canada, de France, d'Allemagne, d'Italie et d'Espagne. Des représentants de l'IRSST² (Québec) et de l'INRS (France) ont contribué à ce groupe de travail qui a fonctionné en distanciel.

HEALTH AND WORK IN 2040: ANTICIPATING FUTURE CHANGES IN WORKERS' HEALTH AND SAFETY – *The Institute for Work and Health (IWH, Canada)*¹ conducted a foresight exercise in 2025 on possible transformations in the world of work by 2040 and their implications for occupational health, safety and well-being. To carry out this project, the IWH brought together experts in foresight (*Creative Futures Studio inc.*) and 18 representatives of occupational health and safety (OHS) research bodies from Canada, France, Germany, Italy and Spain. Representatives from IRSST² (Quebec) and INRS (France) contributed to this working group, which operated remotely.

JENNIFER
CLERTÉ,
MARC
MALENFER
INRS, mission
Veille et
prospective

BERTRAND
GALY
IRSST,
Direction
des opérations
Service de la
recherche

ARIF JETHA
IWH, Direction
scientifique

Introduction

L'objectif principal d'un exercice de veille prospective n'est pas de prédire l'avenir, mais de s'y préparer en anticipant les ruptures, les opportunités et les menaces potentielles.

C'est un outil stratégique qui permet de passer d'une posture réactive (subir le changement) à une posture proactive (anticiper et orienter l'action). La veille prospective est une méthode structurée de collecte d'indices permettant de déceler les signes de changements.

Contrairement à une revue de littérature ou à une veille environnementale, la veille prospective diversifie les sources.

Elle s'appuie sur des sources de données classiques (recherche universitaire, rapports d'organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, médias grand public) et non classiques (brevets, arts [littérature d'anticipation, cinéma...], médias sociaux, podcasts, blogs, newsletters, sources médiatiques parallèles).

Tous les intervenants à ce groupe de travail international ont participé à deux séances de formation et à six séances de travail échelonnées sur une période de quatre mois pour dresser un panorama de signaux forts et faibles. Lors de chacune des six séances de travail, les participants ont recensé et analysé ensemble diverses sources indiquant des signes de changements sociaux, technologiques, environnementaux, économiques, politiques et idéologiques.

Les organisateurs de ces séances en ont dégagé les grandes lignes. Ils ont retenu sept tendances marquantes, chacune s'inscrivant dans une dynamique complexe de changements qui pourraient se concrétiser d'ici 2040. Pour chaque tendance, ils ont mis en évidence les implications pour les préventeurs, les chercheurs et les décideurs afin d'alimenter les réflexions sur les stratégies à adopter. Cet article propose des éléments de synthèse extraits de la version française de ce rapport³, dont la traduction a été assurée par l'IRSST.



Résultats

Sept tendances ressortent de cette analyse :

1. Érosion de la confiance institutionnelle : la confiance de la population dans les institutions, les experts et les systèmes de santé traditionnels s'érode au profit d'influenceurs et de personnalités médiatiques véhiculant des valeurs auxquelles s'identifient certaines tranches de la population. Ce déplacement de l'autorité soulève différents enjeux quant à la manière dont les messages de santé et sécurité sont reçus.

2. Accroissement de la longévité et des différences générationnelles : le vieillissement démographique, le prolongement de l'espérance de vie et l'augmentation de l'âge de la retraite sont autant de facteurs qui changent le visage de la main-d'œuvre.

La technologie joue un rôle central dans le maintien de la santé, de la sécurité et de la productivité des travailleurs. Or, les générations se distinguent les unes des autres par leur différence d'exposition à la technologie et aux changements culturels, ce qui pourrait se traduire par des attentes différentes envers le monde du travail pour les années à venir.

3. Intensification des impacts climatiques : dans un monde du travail où l'accélération de la crise climatique provoque de grandes transformations, les travailleurs sont exposés à de nouveaux risques, et leurs craintes face à l'avenir augmentent. Devant les attentes grandissantes en matière de résilience climatique, certains secteurs sont en pleine mutation, y compris dans leurs approches de la sécurité et du bien-être.

4. Changements algorithmiques : à l'heure où l'intelligence artificielle devient un collègue plutôt qu'un simple outil, les milieux de travail redéfinissent et reconfigurent les emplois, les relations et les risques. Dans ce contexte, il devient urgent d'aborder les questions concernant la santé, la sécurité, le bien-être, l'équité, la justice, la sécurité de l'emploi, les exigences professionnelles et la place de l'humain dans le monde du travail.

5. Hausse de l'isolement : le recul des liens sociaux, la détérioration de la santé mentale et la montée de la polarisation au sein de la société changent le rapport des travailleurs à leurs pairs et aux institutions. Pour beaucoup, ce constat fait de l'inclusion, de la résilience et de l'appartenance des priorités incontournables dans le domaine de la santé au travail, tandis qu'il suscite de la résistance chez d'autres.

6. Perspective d'une montée de l'hostilité : en raison d'un accroissement des tensions géopolitiques, des cybermenaces et des conflits pour les ressources, les guerres s'étendent aux sphères économique, numérique et environnementale, ce qui crée une instabilité qui impacte la sécurité des travailleurs, leur bien-être et leur confiance dans les institutions.

7. Augmentation de la précarité : la hausse du coût de la vie, l'instabilité des emplois et les coupes dans les services publics ont fait de l'insécurité économique un trait caractéristique des périodes de changements économiques, sociaux et technologiques. La précarité continuera d'être un déterminant de la vie professionnelle, redéfinissant la santé, le bien-être et les conditions dans lesquelles devront évoluer les travailleurs et les employeurs.

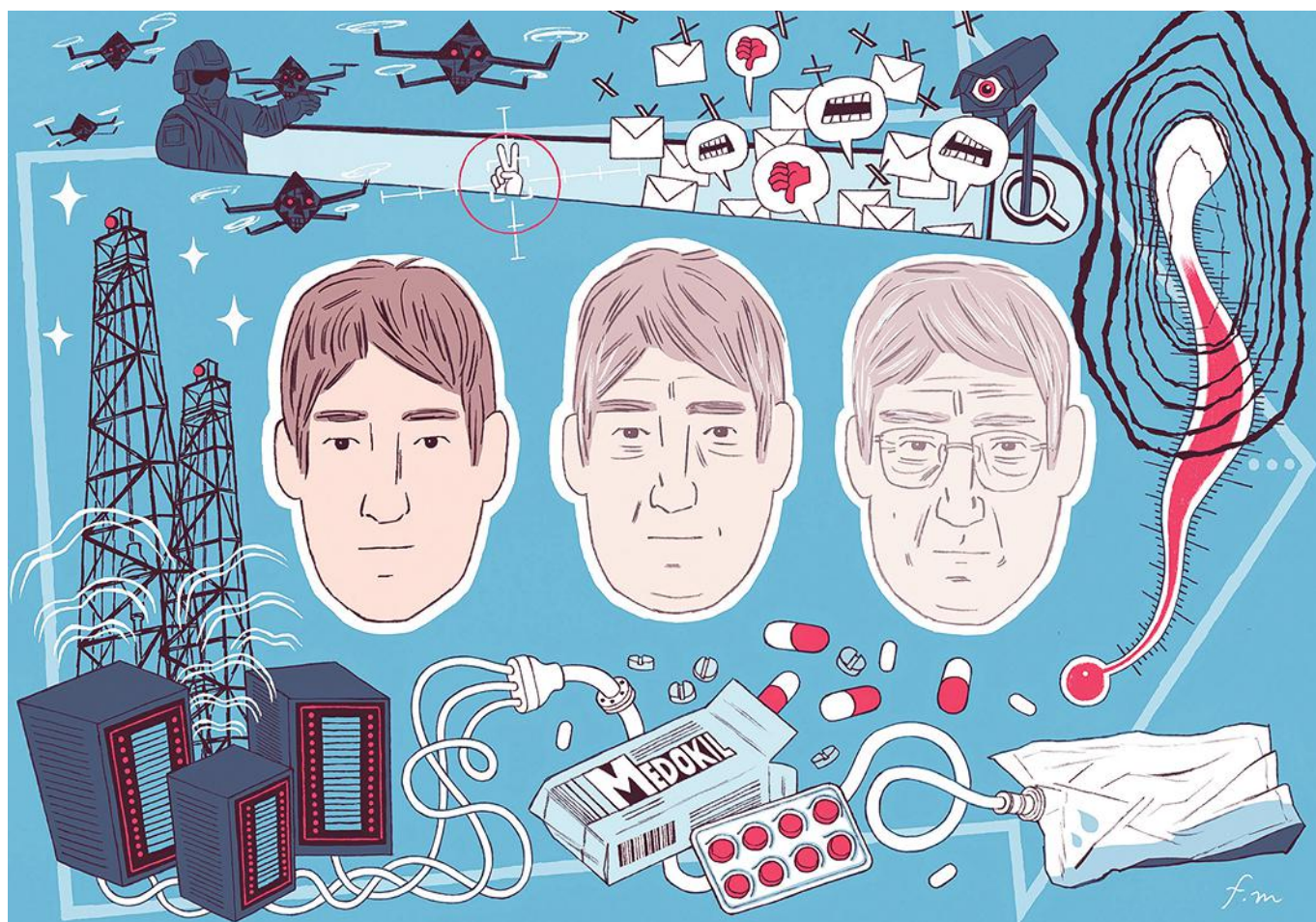
Discussion et principaux points à retenir

À l'horizon 2040, le paysage de la santé au travail pourrait subir de profondes mutations démographiques, technologiques, environnementales et géopolitiques. Pris ensemble, les principaux changements explorés mettent en évidence des mondes possibles où les fondements de la confiance, de la stabilité et du bien-être sont remis en question et auxquels les professionnels de la SST, les décideurs et les chercheurs pourraient devoir s'adapter.

En examinant les différents changements présentés dans la section des résultats, on constate l'émergence de plusieurs thèmes qui auront probablement des implications pratiques importantes pour les professionnels de la SST, les chercheurs et les décideurs :

- **La confiance est brisée.** Entre érosion de la confiance institutionnelle et perspective d'une montée de l'hostilité, l'affaiblissement de l'autorité des institutions, l'ascension des influenceurs et la propagation de la désinformation forceront l'adoption de nouvelles façons de communiquer et la justification des mesures pour que les travailleurs y adhèrent davantage. Une perte de confiance pourrait accroître la remise en question des approches fondées sur des données probantes visant à réduire les accidents du travail et assurer la sécurité au travail. Cette situation pourrait compliquer la mise en œuvre de nouvelles stratégies visant à promouvoir la santé, la sécurité et le bien-être, de même que la réponse à bon nombre des changements présentés dans le rapport.

- **La technologie redéfinit le travail.** Les changements algorithmiques mettent en évidence l'intégration rapide de l'intelligence artificielle (IA) et de l'automatisation dans tous les aspects du travail, appelant une redéfinition des rôles, des relations et même de l'identité. Si ce virage ouvre la voie à de nouvelles approches de soutien de la santé, il comporte aussi de nouvelles menaces pour la sécurité et l'équité. Le flou de la délimitation entre le rôle des travailleurs et celui des machines pourrait conduire à repréciser les règles d'imputabilité en cas d'accident du travail ou de maladie professionnelle. Les professionnels de la SST, les décideurs et les chercheurs pourraient également voir ces changements comme des occasions pour



© Fabrice Montignier pour l'INRS / 2026

le milieu de la SST de collaborer et d'évoluer grâce aux robots et à l'IA.

- **La main-d'œuvre et les milieux de travail sont en mutation.** L'allongement de la durée des carrières pourrait amener cinq générations sociales à se côtoyer au travail, tandis que l'augmentation de la précarité met en lumière les effets profonds qu'auront l'insécurité économique et la hausse des coûts sur les décisions en matière d'emploi, les avantages sociaux et la santé des travailleurs.
- **Les changements climatiques sont inévitables.** Dans un contexte d'intensification des impacts climatiques, les travailleurs seront confrontés à des risques sanitaires directement liés à la chaleur et aux conditions météorologiques extrêmes, ainsi qu'à des perturbations généralisées dans les secteurs économiques, les infrastructures et les systèmes de santé publique. La sauvegarde du climat, l'industrie à faible émission de carbone et l'adaptation aux changements climatiques sont donc au cœur de la résilience des milieux de travail.
- **Le tissu social s'effrite.** La hausse de l'isolement révèle à quel point la solitude, la polarisation et le déclin de la santé mentale pourraient changer la façon dont les gens interagissent, à l'intérieur comme à l'extérieur du lieu de travail, obligeant

les systèmes de SST à faire de l'inclusion, de la résilience et de l'appartenance des priorités.

- **L'instabilité mondiale gagne le monde du travail.** La perspective d'une montée de l'hostilité nous rappelle que les conflits ne se limitent plus aux champs de bataille à l'autre bout du monde; ils sont désormais numériques, économiques et environnementaux, avec des effets en cascade sur la morbidité et la mortalité, les chaînes d'approvisionnement, le stress des travailleurs et la sécurité même des conditions de travail.
- **Une lueur d'espoir au milieu de l'incertitude.** Certains signes de changement mettent en évidence des opportunités sur lesquelles les décideurs et les préventeurs peuvent bâtir. Parmi celles-ci, mentionnons la promotion de milieux de travail plus inclusifs; l'utilisation de technologies et de robots qui permettent d'accroître la sécurité des travailleurs; la mise à profit d'avancées dans le domaine des énergies propres pour créer des environnements de travail plus sains; l'intégration d'une plus grande flexibilité pour tenir compte des attentes de changement des modèles de travail; le maintien en emploi des travailleurs expérimentés et le recours aux technologies pour combler les besoins en main-d'œuvre.





© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2026

• **L'avenir de la santé au travail n'est pas figé.** Il pourrait suffire d'une seule découverte ou d'un seul événement perturbateur, comme une catastrophe climatique, un conflit mondial, l'émergence d'une autre pandémie ou la perte de contrôle de l'IA, pour renverser radicalement les hypothèses avancées dans le rapport et rendre les projections ci-dessus obsolètes du jour au lendemain. Cette incertitude souligne la nécessité de conduire une veille prospective en continu, d'élaborer d'autres scénarios et stratégies d'adaptation pour que les intervenants et les décideurs puissent changer de cap rapidement, quelle que soit la direction que prendront les événements.

En somme, il faudra plus que de simples ajustements progressifs pour les futurs possibles de la santé au travail décrits dans le rapport. Les professionnels de la SST, les décideurs et les chercheurs doivent se préparer à un monde où les risques deviendront probablement plus complexes, plus interreliés et plus intégrés, et où la protection du bien-être des travailleurs impliquera non seulement de les protéger contre les dangers immédiats, mais aussi de bâtir une résilience aux profonds changements qui remodeleront nos sociétés, nos économies et nos lieux de travail.

Conclusion

Le rapport se veut un point de départ, plutôt qu'une feuille de route, pour comprendre ce que l'avenir

pourrait réserver. Certains des changements évoqués pourraient ne jamais se concrétiser, tandis que d'autres pourraient prendre des proportions plus importantes. En leur faisant explorer un large éventail de signes et de scénarios, le rapport invite les chercheurs, les acteurs de la prévention et les institutions à réfléchir différemment, à agir au plus tôt et à collaborer davantage.

Sur la base des conclusions du rapport, ils pourront, pour se préparer aux différents scénarios d'avenir de la santé au travail à l'horizon 2040, envisager les mesures suivantes :

1. Intégrer la prospective dans la recherche, les stratégies et la planification en matière de santé et de sécurité au travail.
2. Renforcer la collaboration intersectorielle (santé, travail, technologie, environnement, éducation), afin de répondre aux risques interconnectés en santé dans l'avenir.
3. Mettre l'inclusion au centre de toute stratégie, de tout programme et de toute politique en matière de santé au travail.
4. Repenser les lieux de travail pour un avenir multigénérationnel, plus inclusif et axé sur la technologie.
5. Traiter la santé mentale, l'appartenance et la résilience sociale comme des questions fondamentales de sécurité du travail.
6. Se préparer aux changements climatiques et aux perturbations généralisées.
7. Faciliter l'adoption éthique et responsable de la technologie.
8. Soutenir la recherche et l'innovation sur les sujets émergents qui pourraient prendre de l'importance d'ici 2040.

L'avenir de la santé au travail à l'horizon 2040 ne sera pas défini par un seul changement ou une seule tendance, mais par la convergence de nombreux changements. Les intervenants en SST, les décideurs et les chercheurs ont la possibilité d'anticiper les risques, d'embrasser l'innovation et de coopérer pour influencer et dessiner des futurs qui mettent en avant l'équité, la résilience et le bien-être humain. La tâche à accomplir ne consiste pas seulement à protéger les travailleurs contre les préjudices, mais à bâtir des systèmes qui permettent à tous les travailleurs de s'épanouir et de s'adapter, peu importe les incertitudes, les instabilités et les surprises que l'avenir réserve. ●

1. L'IWH est un organisme de recherche indépendant sans but lucratif situé à Toronto (Ontario, Canada). Voir : <https://www.iwh.on.ca/>

2. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, centre de recherche et de prévention québécois.

3. Le rapport complet en français est disponible sur le site de l'IWH : <https://www.iwh.on.ca/scientific-reports/sante-et-travail-en-2040-anticiper-les-changements-venir-en-sante-et-securite-des-travailleurs>



HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL (HST)

publication éditée par
l'INRS, Institut national de
recherche et de sécurité pour
la prévention des accidents
du travail et des maladies
professionnelles

65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris – France
Tél.: 01 40 44 30 00
Dépôt légal :
3^e trimestre 2026
n° 2511.0686
ISSN 0007-9952
[www.inrs.fr/publications/
hst/dans-ce-numero.html](http://www.inrs.fr/publications/hst/dans-ce-numero.html)

INRS service abonnements

Service Diffusion,
reprographie
et logistique (DRL)
Hygiène & sécurité du travail
Rue du Morvan, CS 60027
54519 Vandœuvre-
lès-Nancy CEDEX
Tél.: 03 83 50 20 08 /
03 83 50 98 61
abo.revues@inrs.fr

Photogravure

Keygraphic

Impression

Corlet Imprimeur
14110 Condé-sur-Noireau
France

L'autorisation de reproduire
totalement ou partiellement
des articles parus dans
Hygiène et sécurité du travail
(HST) doit être sollicitée
à l'avance et par écrit.
Toute reproduction, quel
qu'en soit le support
(à l'exception des copies
à usage interne), qui n'aurait
pas été précédée d'un accord
préalable, serait effectuée
en violation des droits
de l'éditeur.



**Retrouvez
tous les articles sur
www.hst.fr**