



HAL
open science

Proposition d'une méthodologie en ergotoxicologie pour évaluer et prévenir les expositions aux poussières dans le secteur du BTP

Elhadj Mariko, Louis Galey, Marion Albert, Benoît Langard, Alain Garrigou

► To cite this version:

Elhadj Mariko, Louis Galey, Marion Albert, Benoît Langard, Alain Garrigou. Proposition d'une méthodologie en ergotoxicologie pour évaluer et prévenir les expositions aux poussières dans le secteur du BTP. Archives des Maladies Professionnelles et de L'Environnement, 2023, 84 (6), 10.1016/j.admp.2023.101855 . hal-04288364

HAL Id: hal-04288364

<https://hal.science/hal-04288364>

Submitted on 16 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

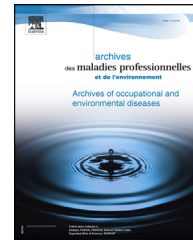


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



ARTICLE ORIGINAL

Proposition d'une méthodologie en ergotoxicologie pour évaluer et prévenir les expositions aux poussières dans le secteur du BTP

Proposal for an ergotoxicology methodology to evaluate and prevent exposure to dust in construction industry

E.S. Mariko^{a,*}, L. Galey^{a,b}, M. Albert^a, B. Langard^c,
A. Garrigou^a

^a Université de Bordeaux, Inserm, Bordeaux Population Health Research Center, équipe EPICENE, UMR 1219, 146, rue Léo Saignat, 33000 Bordeaux, France

^b Université Paris Nanterre, Laboratoire Parisien de Psychologie Sociale, Équipe Travail, Ergonomie, Orientation & Organisations (TE20), 200, avenue de la République, 92001 Nanterre cedex, France

^c Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBTB), Direction technique, 25, avenue Général Leclerc, 92660 Boulogne-Billancourt, France

Reçu le 15 mars 2023 ; accepté le 29 juin 2023

MOTS CLÉS

Ergotoxicologie ;
Poussières
alvéolaires ;
BTP ;
Expositions ;
Prévention

Résumé L'objet de cette publication est de proposer une méthodologie en ergotoxicologie et son application dans le secteur du BTP pour prévenir les expositions à des agents chimiques émis. Les expositions aux poussières et notamment celles de silice cristalline sont une des problématiques sanitaires dans le secteur du BTP en raison du nombre de travailleurs concernés par ces expositions. Cependant, peu d'études s'intéressent à l'activité réelle (au sens de l'ergonomie de l'activité) des travailleurs exposés à ces poussières. Les expositions aux poussières ne se limitent pas à la situation de travail et au salarié concerné, mais d'autres déterminants et acteurs situés hors de la sphère des chantiers sont concernés. Une méthodologie spécifique basée sur l'ergotoxicologie est pertinente pour évaluer et éventuellement prévenir l'exposition aux poussières. Cette méthodologie se divise en 5 phases consistant à réaliser : 1) Une construction de l'étude avec les acteurs concernés ; 2) Une analyse globale

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : Elhadjmariko23@gmail.com (E.S. Mariko).

du chantier permettant d'explorer le chantier, d'émettre de premières hypothèses et de choisir des situations sur lesquelles cibler l'étude ; 3) Des observations « terrain » avec l'aide de matériel vidéo et d'instruments de mesure à la fois des concentrations de poussières dans l'air et de l'intensité physique ; 4) Un entretien d'auto-confrontation mené avec le travailleur faisant l'objet des observations et mesures lors de la troisième phase ; 5) Enfin une restitution avec l'ensemble des acteurs de l'étude et notamment les responsables au sein de l'entreprise afin de discuter des solutions de prévention envisageables. Cette méthodologie propose une compréhension originale des expositions aux poussières par notamment la mise en visibilité de leur multi-causalité. Elle a fait ressortir des situations d'exposition directe et indirecte, des macro-déterminants des expositions, des représentations du risque poussières par les acteurs et les confrontations de leurs stratégies pour se protéger avec d'autres problématiques organisationnelles. Cette méthode ergotoxicologique pourrait être reproduite et perfectionnée dans d'autres situations afin de servir de levier pour l'évaluation et la prévention des expositions aux poussières.

KEYWORDS

Ergotoxicology;
Respirable dust;
Construction;
Exposures;
Prevention

Summary The aim of this paper is to propose a methodology in ergotoxicology and its application in the construction sector to prevent exposure to emitted chemical agents. Exposure to respirable dusts, particularly crystalline silica, is one of the health issues in the construction industry due to the number of workers concerned by this exposure. However, few studies have looked at the actual activity (in the sense of the ergonomics of the activity) of workers exposed to these dusts. Exposures to respirable dusts are not limited to the work situation and the individual worker, but other determinants and actors outside the work site are involved. A specific methodology based on ergotoxicology is relevant in order to assess and possibly prevent exposure to dusts. This methodology is divided into 5 steps consisting of: 1) A construction of the study with the concerned actors; 2) A global analysis of the work site in order to explore the site, to make first hypotheses and to choose situations on which to focus the study; 3) "Field" observations with the help of video equipment and instruments for measuring both dust concentrations in the air and physical intensity; 4) A self-confrontation interview conducted with the worker who was the subject of the observations and measurements during the third step; 5) Finally, a feedback session with all the actors in the study, and in particular the managers within the company, in order to discuss possible prevention solutions. This methodology proposes an original understanding of dust exposure, particularly by highlighting its multi-causality. It brought out situations of direct and indirect exposure, macro-determinants of exposure, representations of the dust risk by the players and the confrontation of their strategies for protecting themselves with other organisational problems. This ergotoxicological method could be reproduced and perfected in other situations in order to serve as a lever for the evaluation and the prevention of dust exposure.

Introduction

Cet article présente une méthodologie issue de l'ergotoxicologie afin d'évaluer, de comprendre et à terme d'améliorer la prévention des risques liés aux expositions à des agents chimiques émis dans le BTP. Ces agents chimiques émis ne sont pas toujours visibles, et ne dépendent souvent pas seulement des matériaux ou produits utilisés, mais aussi des procédés, il peut s'agir par exemple des poussières de silice alvéolaires ; des poussières de bois ; des fumées de diesel, etc.

Dans son premier axe stratégique consistant à renforcer la prévention primaire et la culture de la prévention, le 4^e plan santé travail (PST4) accorde dans son deuxième objectif une priorité aux principaux risques professionnels, notamment les risques chimiques. Le risque chimique est placé comme prioritaire en raison de sa fréquence et de sa gravité. C'est la deuxième cause de maladies profession-

nelles et la première cause de décès [1]. Selon le PST4, en 2019, 4015 maladies professionnelles, dont 1707 cancers et 230 décès, sont dues à l'exposition professionnelle à des produits chimiques ayant des effets délétères à court, moyen et long terme. Ce plan stipule que la prévention des risques chimiques fait l'objet d'un cadre réglementaire. Cependant, les très petites entreprises (TPE) et les petites et moyennes entreprises (PME) rencontreraient des difficultés dans la mise en œuvre des mesures de prévention issues de ce cadre [1].

L'activité de travail impliquant des matériaux sous forme de poudre tels que les ciments ou les matériaux durcis tels que les bétons, peut entraîner un risque lié aux expositions aux particules fines issues de ces matériaux. Ainsi, l'évaluation des expositions revêt une grande importance notamment en ce qui concerne les poussières alvéolaires en raison de la présence d'éléments potentiellement toxiques tels que la silice cristalline. Cette évaluation est nécessaire

pour prétendre mettre en places des dispositions adaptées de prévention in fine.

En effet, il existe trois grandes fractions de poussière en ce qui concernant ces poussières issues des bétons : la fraction inhalable, thoracique et alvéolaire. La fraction inhalable des poussières (ou poussières inhalables) correspond à toutes les poussières ayant une taille leur permettant d'être inhalées par le nez ou la bouche. Leur diamètre aérodynamique est généralement inférieur à 100 μm . La fraction thoracique des poussières (ou poussières thoraciques) correspond à toutes les poussières dont la taille leur permet d'atteindre et dépasser le larynx. Leur diamètre aérodynamique est généralement inférieur à 10 μm . La fraction alvéolaire des poussières (ou poussières alvéolaires) correspond à toutes les poussières ayant une taille suffisamment petite pour atteindre les alvéoles pulmonaires. Leur diamètre aérodynamique est généralement inférieur à 4 μm .

Les expositions aux poussières apparaissent principalement lors de la réalisation de certaines tâches émissives telles que la taille ou de la découpe de pierres, la découpe de briques, le ponçage et la perforation de mur en béton ou encore lors la découpe de carrelage. Ces tâches se retrouvent principalement dans le secteur du BTP.

En ergotoxicologie, les expositions professionnelles sont considérées comme étant complexes, dépassant la sphère des situations de travail et intégrant d'autres niveaux de déterminants. Au regard de ces complexités autour des expositions, ces dernières doivent être considérées comme une « énigme » qu'il faut chercher à résoudre à travers l'analyse de l'activité [2]. En dépassant cette sphère de la situation de travail, la problématique des expositions touche à l'organisation du travail, car « l'organisation du travail s'impose dès qu'on mobilise des ressources pour agir dans un contexte donné » [3].

Au regard de sa manière d'appréhender la problématique des expositions, l'ergotoxicologie ne constitue pas une néo-discipline, elle est « une pratique particulière de l'ergonomie qui vise à développer des modèles opérants (au sens de Wisner, 1972), des outils et des moyens de prévention efficaces pour gérer et prévenir les risques pour la santé des travailleurs exposés à des produits chimiques. » [2]. L'approche ergotoxicologique est une approche transdisciplinaire mobilisant des connaissances et modèles issus de la toxicologie, de la santé au travail, de la prévention ou encore de la métrologie. S'appuyant sur l'analyse de l'activité [4–7] à travers la production de connaissance sur la base de données objectives (par exemple la métrologie) conjuguées à des données subjectives (représentations des travailleurs, savoir-faire...), l'ergotoxicologie cherche à comprendre les situations d'exposition des travailleurs « à des dangers d'origines chimiques qui, de fait, vont constituer un risque » [8].

La prévention des expositions aux poussières d'une manière générale repose actuellement sur le modèle dominant de prévention du risque chimique où les VLEP [9–12] jouent le rôle d'« écran normatif » apposé pour empêcher la toxicité potentielle d'atteindre un niveau délétère [13]. Elle repose sur un rapport déterministe entre une substance et ses effets à partir d'une dose seuil prédéterminée. Ce modèle, reposant essentiellement sur les normes, comporte à minima deux limites [13]. En premier lieu, il s'agit des limites intrinsèques ayant un lien direct avec la norme qui

est « le résultat d'un processus social de négociations » [13]. En effet, la diversité de VLEP selon les pays corrobore ce postulat. En deuxième lieu, il s'agit des limites extrinsèques, car ce modèle repose sur un homme moyen exposé à un seul toxique à la fois ayant une voie de pénétration respiratoire durant un travail réalisé à « 25°C, 700 mm Hg, 8 heures/jour/5 jours par semaine » [13].

Au regard du modèle dominant de prévention du risque chimique [13] s'articulant autour des VLEP, les conditions de réalisation des tâches s'avèrent peu – ou pas – prises en compte notamment en termes de diversité et de variabilité. Aussi, des éléments prépondérants tels que les représentations du risque ou encore des savoir-faire des travailleurs en termes de stratégies informelles de protection sont peu visibles dans la prévention des expositions aux poussières de silice cristalline dans le BTP. Ainsi, l'ergotoxicologie s'intéresse aux expositions des travailleurs aux produits chimiques à travers leur activité. Elle saisit et définit l'activité de travail comme « un processus dynamique et intégrateur des différents déterminants (et leurs interactions entre eux) dans la situation de travail » [2]. L'ergotoxicologie s'intéresse également à l'Homme non pas comme un facteur des situations, mais comme un acteur et se saisit de ce dernier selon un modèle intégrant quatre dimensions de l'Homme. Il s'agit des dimensions « biologique, cognitive, psychique et sociale » qui s'articulent aux déterminants des situations d'exposition qui peuvent être « d'ordre Technique, Humain ou Organisationnel » [8].

C'est dans ce cadre que notre étude propose une méthodologie issue de l'ergotoxicologie afin d'essayer de résoudre « l'énigme » entourant les expositions aux poussières de silice cristalline alvéolaires dans le BTP. Cette étude a pu être réalisée grâce à une demande de l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBT) portant sur le développement de méthodes à partir de l'ergotoxicologie pour prévenir les expositions aux poussières de silice cristalline alvéolaires.

La méthode détaillée dans cet article s'inscrit également dans les objectifs du PST4, au même titre que ceux de l'OPPBT à travers son plan @H2025. En effet, le PST4 préconise de prévenir l'exposition aux produits chimiques par une meilleure connaissance des expositions et des potentielles polyexpositions pouvant exister. Le plan @H2025 de l'OPPBT poursuit 5 priorités stratégiques dont la 3^e consiste à intégrer la prévention des risques dès la conception et à soutenir les innovations.

L'objectif poursuivi dans cet article est de montrer, à travers une étude de cas, les apports de l'ergotoxicologie dans la compréhension et la prévention des expositions aux poussières de silice cristalline alvéolaires dans le BTP.

Méthode

Contexte

La demande à l'origine de cette étude a été formulée par les domaines Prévention de l'Usure Professionnelle et Risques Chimiques et Biologiques, appartenant tous deux au pôle risque de la direction technique de l'organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBT). En effet, la problématique des expo-

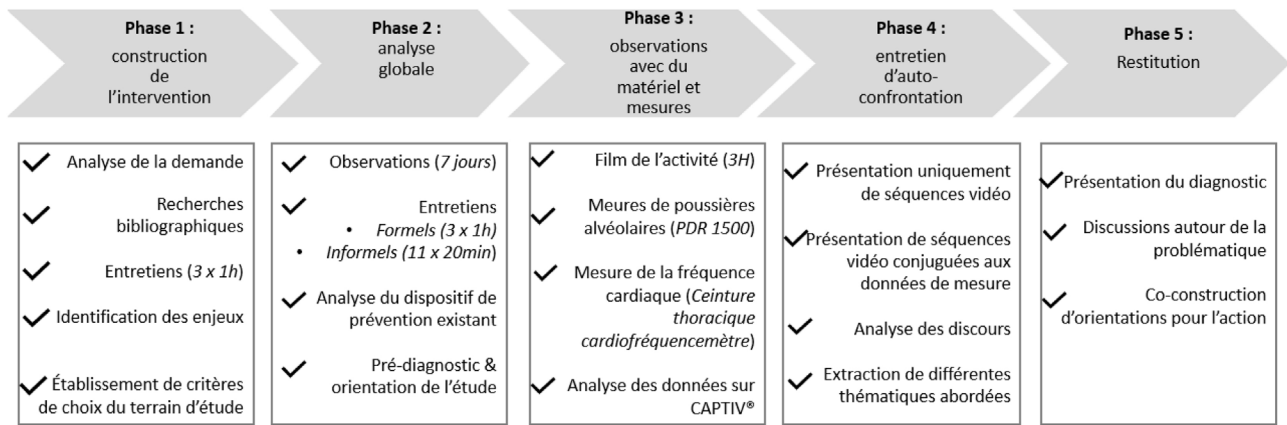


Figure 1. Présentation des phases de l'étude et des actions menées durant chaque phase.

sitions aux poussières de silice cristalline est un défi pour l'OPPBT qui mène une campagne de mesurage de l'empoussièrisme depuis 2017 appelée « carto-silice » [14]. Cependant, l'organisme a manifesté sa volonté de développer de nouvelles méthodes de prévention des expositions aux poussières d'une manière générale et particulièrement celles de silice cristalline alvéolaires à travers les méthodes de l'ergotoxicologie.

Terrain

L'étude s'est déroulée sur un chantier ayant pour projet la construction d'un centre d'accueil pour demandeurs d'asile et de logements étudiants.

Les travaux de construction sur ce chantier se divisent en deux grandes étapes, le gros œuvre et le second œuvre. Il s'agit de deux catégories de travaux bien distincts dont la principale différence est que l'un se focalise sur les éléments structurels de la construction afin de la mettre hors d'eau et hors d'air, tandis que la seconde consiste à rendre cette dernière habitable.

Le gros œuvre commence avec les travaux de terrassement, puis de fondation, et enfin d'assainissement pour mettre hors d'eau le bâtiment en construction. Les travaux finissent avec les phases de finition et de réparation et aussi avec la charpente afin de solidifier l'ensemble de la construction et de préparer à la pose de la toiture. Parmi les professionnels qui interviennent dans le gros œuvre, nous pouvons compter les terrassiers, les coffreurs-bancheurs, les grutiers, les maçons, les maçons-finisseries, les charpentiers ou encore les couvreurs.

Les travaux de second œuvre interviennent sur la partie habitable et décorative de la construction. Ils commencent généralement par l'aménagement intérieur avec l'isolation acoustique et thermique pour avoir le maximum de confort entre autres. Les intervenants à ce niveau sont principalement les menuisiers, les plaquistes, les plombiers, les carreleurs, les peintres, les chauffagistes, les électriciens, etc.

Ce chantier s'avère être un terrain propice pour la mise en œuvre de cette méthode, au regard principalement des travaux de gros-œuvres comprenant notamment des tâches de finition réalisées par les maçons-finisseries. Parmi ces tâches, nous pouvons compter la perforation du béton, la

découpe ou encore le ponçage. Ces tâches citées sont potentiellement exposantes aux poussières de silice cristalline.

Ce chantier s'étend sur une surface de 12 000 m² et 11 étages. Son effectif comporte de la diversité en lien avec l'âge, l'expérience ou encore les horizons de provenance des travailleurs. Nous pouvons y compter des Espagnols, Portugais ou Italiens dont certains travailleurs ne parlent pas français. En effet sur quatre maçons-finisseries, un seul arrive à s'exprimer d'une manière totalement compréhensible en français, cela ne constitue pas un frein dans l'activité sur le chantier, mais pourrait en constituer un lors d'un entretien d'auto-confrontation. De ce fait, la métrologie et l'entretien d'auto-confrontation (cf. Phase 3 & 4) n'ont été réalisés qu'avec un seul maçon-finisseries.

Méthodologie mise en œuvre

La méthode a été conçue avec une séquence de 5 phases détaillées ci-dessous et présentées schématiquement en Fig. 1.

Phase 1 : construction de l'étude

Cette phase concerne les recherches bibliographiques permettant de se saisir du contexte dans lequel s'inscrit cette étude ainsi que les objectifs, la finalité, les acteurs et les enjeux. Il a été nécessaire d'établir des critères de choix de l'entreprise hôte. En effet, notre choix s'est porté sur le secteur du bâtiment au lieu des travaux publics du fait de la relative stabilité des chantiers et des travailleurs qui y travaillent, surtout dans un souci de proximité des travailleurs pour les autres phases de l'étude. Les travaux du bâtiment sont généralement plus longs que ceux des travaux publics qui, pour des contraintes de fermeture de voies de circulation notamment, ne s'étendent pas dans le temps. De plus, les travailleurs des TP peuvent être amenés à changer de chantier plusieurs fois par semaine. Ceci aurait pu poser des difficultés de remémoration de l'activité qui aurait été observée. Enfin, il semble plus facile d'équiper un travailleur dans le bâtiment que dans les travaux publics où ils se déplacent souvent sur de longues distances.

Tableau 1 Travailleurs rencontrés lors des entretiens informels d'environ 20 minutes.

Âges	Métiers	Ancienneté dans le métier
34	Plombier	19 ans
46	Électricien	7 mois
19	Maçon	4 ans
20	Coffreur	1 an
47	Maçon-finiisseur	Plus de 10 ans, avant coffreur
52	Maçon-finiisseur	11 ans, avant travailleur dans une usine à l'étranger, puis coffreur
59	Maçon-finiisseur	12 ans, avant maçon pendant 15 ans
49	Maçon-finiisseur	20 ans, avant conducteur de camion à l'étranger
34	Ferrailleur	Plus de 10 ans
50	Ferrailleur	14 ans
36	Ventilation	16 ans

Phase 2 : analyse globale

L'analyse globale consistait à collecter des informations sur les sources d'exposition potentielles, avec une analyse des dispositifs de prévention en place dans l'entreprise hôte de l'étude. Nous avons effectué les premières visites de terrain et des entretiens (formels et informels) avec les acteurs concernés. Ceci nous a permis de faire de cette étude une « *construction sociale* » [2]. En plus des entretiens formels réalisés avec certains responsables du chantier (QSE, chef de chantier et conducteur des travaux), nous avons également réalisé onze entretiens informels d'environ 20 minutes avec onze travailleurs issus de différents corps de métier (cf. [Tableau 1](#)) qui ont accepté d'échanger avec nous durant leur activité. Cette analyse globale visait à rechercher des origines possibles des situations d'exposition et nous a permis d'établir un pré-diagnostic partagé et d'orienter l'étude vers les activités de finition réalisées par les maçons-finiisseurs. Cette orientation s'est faite sur la base d'hypothèses en lien avec la réalisation par les maçons-finiisseurs, de tâches potentiellement exposantes telles que le ponçage ou la perforation de mur en béton. En lien également avec l'utilisation d'outils potentiellement exposants tels que la ponceuse, la disqueuse ou encore le marteau-piqueur.

Phase 3 : observations avec du matériel vidéo et mesure des expositions et de l'intensité physique à partir de la fréquence cardiaque

La troisième phase de la méthodologie, portait sur des observations vidéo de l'activité de travail du maçon-finiisseur accompagnées de mesures en temps réel des poussières alvéolaires, complétées par des mesures physiologiques afin d'appréhender l'intensité physique de l'activité. Dans le cadre de cette étude de cas, nous avons réalisé une vidéo de 3 heures environ.

Le matériel utilisé (cf. [Fig. 2](#)) et un laboratoire d'analyse ont été mis à disposition par l'université de Bordeaux à travers l'équipe Épidémiologie du cancer et expositions environnementales (EPICENE) faisant partie du centre de recherche Bordeaux Population Health (BPH) et qui est labélisée par l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm U1219). Nous avons équipé l'opérateur

d'un analyseur de poussières, le néphélomètre « personnel dataram » (PDR 1500) pour mesurer en temps réel les variations de concentration en masse de poussières alvéolaires inhalables. Nous avons effectué un calibrage de l'appareil avec une régulation de débit volumique à 2,6 l/min ainsi que la mise en place d'un cyclone correspondant aux fractions alvéolaires. Cependant, le PDR 1500 ne mesure que la quantité de poussière, les données qu'il produit ne permettent donc pas de déterminer des dépassements éventuels de VLEP de silice cristalline alvéolaire. Nous avons également équipé l'opérateur d'un cardiofréquencemètre permettant de mesurer en temps réel sa fréquence cardiaque. Nous nous sommes référés à différents indicateurs de la fréquence cardiaque pour réaliser nos analyses sur l'intensité physique. Il s'agit notamment de :

- la fréquence cardiaque maximale théorique (FCMT) qui est égale 220 battements par minute moins l'âge (BPM – âge). Il s'agit de la fréquence cardiaque maximale que peut en théorie supporter l'organisme selon l'âge ;
- le coût cardiaque absolu moyen (CCA) est une estimation de la capacité aérobie maximale. Il correspond à l'augmentation de la fréquence cardiaque entre le repos et sa valeur moyenne pendant la tâche, $CCA = FC_{\text{moy}} - FC_0$;
- le coût cardiaque relatif (CCR) calculé à partir de la référence de repos est égal au 1^{er} percentile des valeurs de travail (valeurs dépassées pendant 99 % du temps de travail).

Une caméra portable a permis de filmer l'activité de l'opérateur et de le suivre dans toutes les tâches réalisées.

L'opérateur était équipé par ces matériels et un tube relié au PDR 1500 a été placé près de ses voies respiratoires. Nous avons ensuite traité les données grâce au logiciel de traitement CAPTIV® [15] permettant de synchroniser des données issues de capteurs (PDR 1500 et ceinture thoracique cardiofréquencemètre) à la vidéo pour ensuite pouvoir coder et faire l'analyse de l'activité [16].

Le codage de l'activité se fait en plusieurs étapes. Il faut d'abord visionner plusieurs fois la vidéo pour déterminer les actions du maçon-finiisseur. Ensuite, il faut déterminer des classes d'observables. Par exemple, la classe d'observables « phases d'activité » comportera des observables tels que le ponçage, le ragréage ou encore le nettoyage. Les observables sont déterminés en fonction des hypothèses et des



Figure 2. Illustration du matériel utilisé et de sa mise en oeuvre sur le terrain.

questionnements, mais aussi en fonction de l'objectif de l'étude. Par exemple, nous avons codé les ports de charge, les déplacements et les montées et descentes d'escaliers par le travailleur, car nous avons émis des hypothèses sur la charge physique de l'activité. En synchronisant les vidéos aux données issues des capteurs et en effectuant le codage, nous pourrions ainsi décrire les activités réalisées en lien avec le niveau d'exposition ou encore le niveau d'intensité physique déployée par les travailleurs filmés [17].

Grâce à la synchronisation dans le logiciel CAPTIV®, nous pouvons visionner en temps réel : la vidéo de l'activité, la variation de la concentration en masses des particules de poussières, la variation de la fréquence cardiaque, le codage des phases de l'activité ou encore des ports de charge. Un curseur rouge permet de suivre la progression de la vidéo par rapport au codage (cf. Fig. 3).

Phase 4 : entretien d'auto-confrontation

À partir du traitement des données, nous avons pu réaliser un entretien d'auto-confrontation avec le travailleur filmé afin de mieux comprendre son activité [18] et notamment ses représentations du risque [19] liées aux expositions aux poussières. Cette étape constitue la quatrième phase de notre étude.

Une vidéo présentant quatre séquences principales de travail d'une durée de 5 à 8 minutes a été utilisée durant cet entretien. Ces quatre séquences correspondaient aux moments de pic de poussières et de fréquence cardiaque. Il est cependant important de spécifier que d'autres séquences ont été présentées en lien avec des périodes de communication avec d'autres travailleurs ou encore lors d'une utilisation spécifique de certains outils tels que le système de captation de poussières à la source. L'entretien s'est déroulé en deux temps :

- dans un premier temps, nous avons présenté la vidéo de l'activité sans les données des capteurs afin de faire verbaliser le travailleur sur son activité sans risquer de biaiser son discours par ces données ;

- dans un second temps, il lui a été présenté la vidéo de son activité conjuguée aux données de mesure de poussières et des données cardiaques afin de voir les réactions du travailleur face aux données et de faciliter également la verbalisation des représentations et des potentielles stratégies.

Ensuite, nous avons effectué une analyse du discours du travailleur en vue d'extraire notamment des informations relatives au métier, à l'expérience, à la qualité ou encore les sources de satisfaction. Nous avons également pu extraire des informations en lien avec les représentations du « risque poussières », les stratégies de protection qu'il essaie de mettre en œuvre et les difficultés rencontrées dans cette mise en œuvre.

Phase 5 : restitution

Sur la base des résultats obtenus lors des phases précédentes, une restitution a eu lieu sous forme de groupe de travail avec les acteurs du chantier notamment les chefs de chantier, la responsable QSE, le chef d'équipe, un préventeur de l'OPPBT et une secrétaire de séance. Le but était de présenter notre diagnostic sur les situations d'exposition et de permettre la discussion autour des supports vidéo. Cela nous a permis d'avoir d'autres niveaux de compréhension des expositions et de réfléchir sur les premières pistes d'actions notamment sur le plan technique et organisationnel. Cette phase constitue la dernière phase de notre étude.

Résultats

Cette partie ne présente pas l'ensemble des données recueillies durant cette étude de cas. Elle ne présente pas notamment les données quantitatives sur l'exposition aux poussières alvéolaires. Elle résume principalement les résultats des analyses qualitatives des situations d'exposition aux poussières alvéolaires grâce au logiciel CAPTIV®, les représentations du « risque poussières » issues des analyses des entretiens formels et informels et de l'entretien

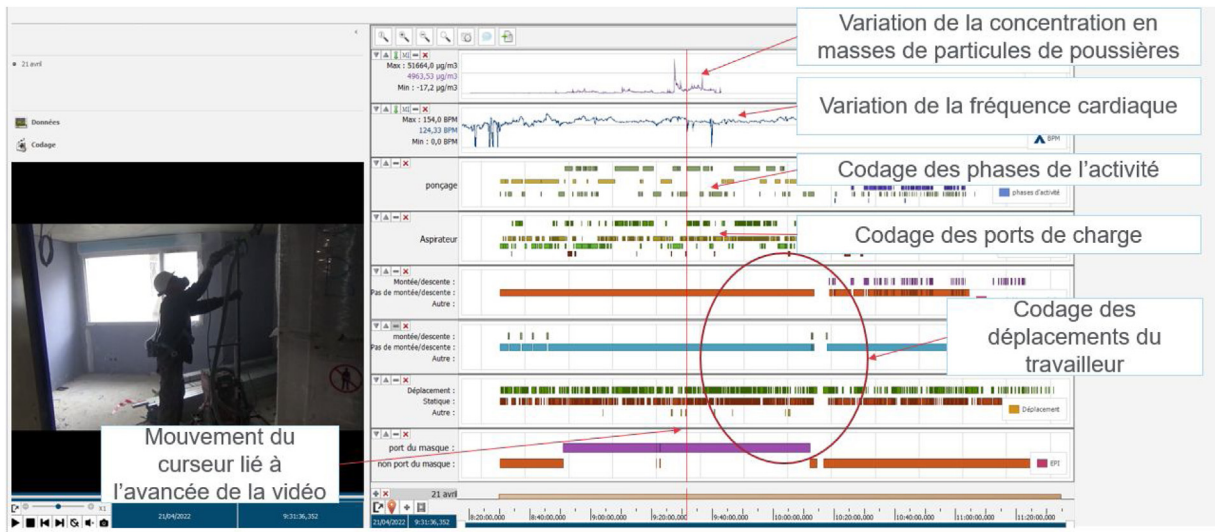


Figure 3. Synchronisation des données en temps réel sur CAPTIV®.

d'auto-confrontation. Des verbatims des opérateurs viendront appuyer ces résultats d'analyse. Nous présenterons également dans cette partie, les résultats de l'analyse cardiaque réalisée et leur corrélation avec l'exposition aux poussières alvéolaires. Enfin, nous présenterons les déterminants organisationnels qui ont émergé lors de la restitution ainsi que les actions envisagées lors de cette restitution.

Ainsi, nous pouvons résumer les résultats en quatre points essentiels en lien avec les objectifs de cet article.

Des situations d'expositions et des représentations du « risque poussières »

Les situations d'exposition aux poussières alvéolaires par inhalation entretiennent des liens directs avec les travaux réalisés par les maçons-finisseries, mais d'autres corps de métiers sont sujets à ces problématiques. Nous avons ainsi pu déterminer des situations d'exposition directe, mais aussi indirecte. Les situations d'exposition directe sont des expositions causées directement par l'activité du travailleur par exemple lors de la réalisation d'une tâche de ponçage ou lorsqu'il effectue la mise en place en soulevant le système de captation de poussières remettant ainsi en mouvement les particules de poussière de taille alvéolaire dans l'air. Les situations d'exposition indirecte sont des situations durant lesquelles le travailleur est exposé alors qu'il ne réalise aucune tâche particulière à ce moment précis comme lors du passage dans un couloir par exemple. Ce qui s'explique par les tâches émissives de poussières réalisées en amont par le travailleur ou par des tâches émissives de poussières réalisées par un autre travailleur à proximité de l'endroit où se trouve celui filmé. Il s'agit notamment du nettoyage ou de l'évacuation des ordures par exemple pouvant remettre en suspension les poussières alvéolaires.

Ainsi, la poussière est un élément inhérent aux activités du chantier d'une manière générale, les représentations et les stratégies des travailleurs ont corroboré ce constat. Ces représentations sont en lien avec le corps notamment avec une perception sensorielle du « risque poussières » comprenant l'odorat, la vue et même le goût.

« Si tu travailles sans masque bien sûr dans le nez tu sens beaucoup plus de poussières [...] tu la manges tous les jours, tu la respires tous les jours [...] tu ne peux pas l'éviter en fait. [...] Et quand tu bois de l'eau souvent tu sens le goût de la poussière dans ta bouche des fois il y a même des petits cailloux quoi, des minuscules cailloux dans ta bouche [...], mais il y a des moments quand tu ponces [...] tu la vois quoi, tu la vois, tu la vois en fait... ».

Elles concernent également les connaissances qu'ont les opérateurs d'un risque invisible, ses potentielles effets sur la santé et la peur que cela entraîne chez eux.

Une conjugaison de déterminants impliquant divers acteurs

L'exposition est également en prise avec différents déterminants organisationnels et matériels autour desquels gravite une diversité d'acteurs. Sur le plan organisationnel, nous avons fait ressortir notamment les déterminants liés aux choix de conception, aux dimensions du plan de construction et aux délais de construction. Les problématiques de séquençage des tâches de finition entraînent une activité éclatée dans le temps et dans l'espace avec des interruptions incessantes dans la réalisation de ces tâches potentiellement exposantes (la perforation du béton, la découpe ou encore le ponçage). Toutes ces tâches sont réalisées par le maçon-finiisseur.

Les acteurs gravitant autour de ces déterminants organisationnels sont principalement le maître d'ouvrage (client), l'entreprise de construction à travers son service commercial, le conducteur des travaux, les travailleurs de chantier. Nous pouvons également compter les sous-traitants, les services d'interim, et enfin la maîtrise d'œuvre à travers les architectes et les bureaux d'ingénierie.

Sur le plan matériel, nous avons une problématique d'appropriation du chariot et du système de captation des poussières à la source qui, bien qu'il s'agisse d'une stratégie de protection, engendre plusieurs difficultés dans l'usage. Il y a également une multitude d'outils qui déterminent les

situations d'exposition tels que la ponceuse, le marteau-piqueur ou encore la disqureuse.

Des logiques qui se confrontent dans l'activité

Cette conjugaison de déterminants impliquant divers acteurs, est à la source d'une dichotomie entre deux logiques chez les travailleurs de chantier. Il s'agit d'une confrontation entre une logique de protection et une logique de production. Ces déterminants font du chantier un environnement incertain, dynamique et complexe. Ils entraînent une pression temporelle et spatiale quasi-permanente et une activité éclatée dans le temps et dans l'espace des maçons-finisseries. Ainsi, certaines opérations censées être ponctuelles, deviennent répétitives et entraînent cette dichotomie.

Les analyses ont montré que les opérateurs connaissent des stratégies de protection collective et individuelle vis-à-vis du « risque poussière » telle que la diminution de la vitesse de la ponceuse permettant une meilleure captation à la source. Cependant, l'application de ces stratégies entraîne une contradiction avec les contraintes de production et/ou de qualité auxquelles ils sont soumis.

« *Quand tu mets moins vite l'aspirateur il prend plus la poussière. Plus ça va vite, plus l'aspi [le système de captation de poussières à la source] ne prend pas la poussière [...] quand tu mets moins vite, la ponceuse laisse plus de traces sur le béton surtout quand le mur est plus fragile* ».

En effet, la recherche de la qualité est l'essence même de l'activité du maçon-finiisseur. Cette recherche de qualité est envisagée sous deux angles :

Il faut que le mur soit lisse pour que le peintre puisse y appliquer sa peinture sans avoir besoin de poncer en amont. Ainsi, le maçon-finiisseur cherche à atteindre une certaine qualité dans le ponçage et la réparation du mur pour faciliter la tâche du peintre. C'est l'un des objectifs recherchés dans l'activité.

« *Il faut que le peintre soit heureux* ».

Le second point de vue renvoie au fait que la plupart des corps de métier ont la possibilité de faire rattraper leurs erreurs par d'autres corps de métier, mis à part les maçons-finisseries. En effet, les maçons-finisseries sont les seuls à rattraper eux-mêmes leurs erreurs en plus de pallier celles des autres. Il y a donc, au-delà de l'objectif de faire de la qualité, une obligation de qualité pour éviter les allers-retours sur les tâches précédemment faites.

« *Si tu choisis ce métier tu sais déjà à quoi t'attendre. Tu dois réparer la m*rde des autres. Par exemple, il peut y avoir un bout de planche qui reste et quand le gars du plancher essaie de l'enlever, dès qu'il n'y arrive pas, il laisse et se dit que le finisseur rattrapera* ».

Au regard de cette conjugaison de déterminants, nous nous trouvons face à une mise en danger individuelle et collective plus ou moins consciente de la part des travailleurs sous pression temporelle et spatiale, et dans une optique d'apporter des réponses aux objectifs de production et des exigences de qualité.

« *Quand je ponce 2 min je ne prends pas l'aspi, surtout si je dois descendre des étages pour ça. Je n'ai pas le temps de me mettre en sécurité [...] la sécurité c'est le temps* ».

La pénibilité physique comme facteur potentiellement aggravant de l'exposition aux poussières alvéolaires

L'analyse cardiaque nous a permis d'obtenir des données quantitatives sur l'activité physique déployée par le travailleur pendant la durée de l'activité filmée (3 h 20 min). Le travailleur faisant l'objet des mesures cardiaques est un maçon-finiisseur âgé de 47 ans avec plus de 10 ans d'ancienneté dans ce métier et ne faisant pas d'entraînement sportif particulier en dehors de son temps de travail.

Nous avons pu, à travers les différents indicateurs de la fréquence cardiaque présentés, déterminer le niveau d'intensité physique du travailleur en nous référant notamment à la grille de cotation de Meunier [17] (cf. Fig. 4).

Selon la grille de Meunier, l'effort sur l'ensemble de l'observation est lourd avec un score de 12 sur 15. Il est également très lourd avec un score 14 sur 15 lorsqu'on utilise la méthode de Chamoux faite en fonction du coût cardiaque relatif moyen.

Les valeurs limites crêtes à ne jamais dépasser au travail, sont de 90 % de la FCMT ou la FCMT – 20BPM et 80 % du CCR [20]. Partant de ce postulat et sachant que la fréquence cardiaque maximale théorique du travailleur est de 173 BPM, la valeur limite crête de notre travailleur correspond à 153 BPM.

Le travailleur a atteint et dépassé cette valeur une fois pendant son activité. Cette période correspondait à la montée des escaliers dans le cadre de l'exécution des tâches de mise en place des pièces de son chariot utilisé pour la traction du système de captation de poussières. Le port de charge conjugué à la montée des marches d'escalier constitue une source de pénibilité manifeste dans l'activité du travailleur.

D'une manière générale dans son activité filmée, les moments de pénibilité en fonction de la fréquence cardiaque, apparaissent lors de la montée des escaliers avec port de charge ou non. Les charges diffèrent selon les moments et les besoins de l'activité. Il peut s'agir de sac de ciment (15 kg), du système de captation de poussières (15 kg) ou d'autres outils, notamment le chariot de traction ou encore d'autres appareils électroportatifs tels que la ponceuse girafe.

La fréquence cardiaque (FC) et la fréquence respiratoire entretiennent une relation de proportionnalité linéaire qui s'étend jusqu'à 90 % de la VO². Ainsi, lors d'un effort intense dépassant 100 BPM, le débit pulmonaire peut atteindre 4 × la VO² de repos [17].

Ce constat nous permet d'affirmer que plus la fréquence cardiaque est haute plus le volume d'air respiré est conséquent et plus le travailleur est susceptible d'inhaler de la poussière. La pénibilité physique peut ainsi être un facteur aggravant de l'exposition.

Les orientations pour l'action

Les actions à mener ont été envisagées et discutées en CSSCT où nous avons été invités à restituer notre étude. La commission comptait les acteurs précédemment mentionnés (cf.

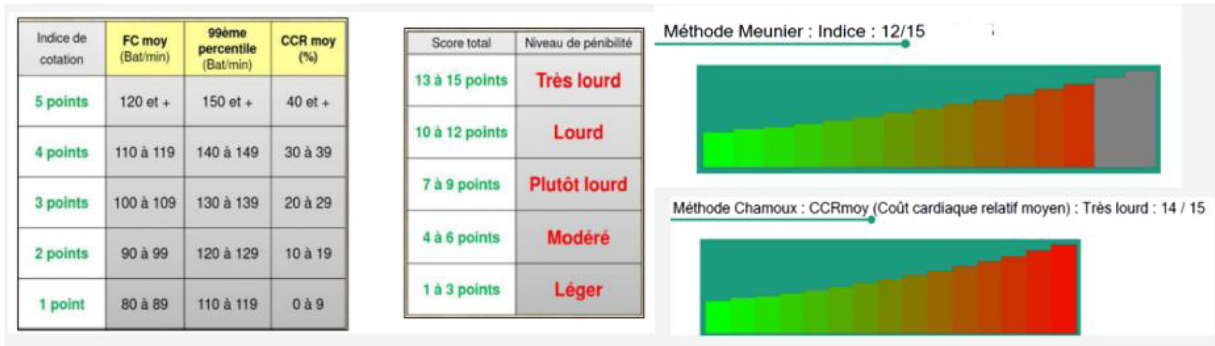


Figure 4. Grille de cotation de la pénibilité au travail de Meunier (2014).

2.2.5. Restitution). Les propositions faites ici ne sont pas encore cristallisées¹ et devront faire l'objet, par la suite, de tests en situation réelle et seront discutées ou groupes de travail. Ces groupes de travail intégreront également des travailleurs du chantier tels que les maçons-finisseries, les coffreurs, les bancheurs, etc.

Les propositions d'actions ont été envisagées sur deux plans : le plan organisationnel et le plan technique.

Sur le plan organisationnel

Les discussions entre acteurs ont permis de réfléchir à intégrer les responsables du chantier, notamment le conducteur des travaux, dès la conception des plans de construction. Ceci pour discuter et apporter des solutions aux incohérences dès la conception du plan et éviter ainsi le circuit de validation coûteux en temps.

Programmer et exécuter les tâches de finition émissives de poussières directement après le coulage du béton permettant ainsi aux maçons-finisseries d'exécuter ces tâches en continu sans les multiples interruptions qui sont problématiques dans la mise en œuvre des stratégies de protection. Cette programmation permettra également de tendre vers une activité linéaire des maçons-finisseries au même titre que d'autres corps de métier tels que les bancheurs ou les ferrailleurs et les coffreurs. Cette programmation revêt un enjeu de réduction de l'intensité physique, qui, comme nous l'avons mentionné, peut constituer un facteur aggravant de l'exposition.

Il a été envisagé également d'inverser, à certains moments de l'activité, l'ordre de passage entre les maçons-finisseries et les plaquistes qui passent après eux en temps normal. Ce qui pourrait permettre aux maçons-finisseries d'accéder directement à la zone d'activité souhaitée et d'éviter l'encombrement de son espace de travail et toutes les problématiques de posture et de mise en danger qu'il implique.

Enfin, les acteurs ont proposé de faire appel à un conducteur de travaux en plus. Ce dernier aura pour rôle principal d'aider dans la coordination des plannings inter-métiers et



Figure 5. Chariot à tester lors du ponçage de plafond.

d'organiser et séquencer les tâches de finition émissives de poussières.

Sur le plan technique

Améliorer la qualité des ouvrages faits en amont des travaux de finition principalement les voiles bancheurs et les coffrages. Ces améliorations permettront de diminuer les défauts de cueillie (angle formé par la rencontre entre deux cloisons ou entre une cloison et un plafond), les résidus et les fuites de béton qui rendent difficile le ponçage et les réparations.

Tester un chariot moins contraignant dans l'usage notamment en termes de posture. Ce test aura pour objectif de vérifier si celui-ci répond aux contraintes des travailleurs qui l'utilisent (cf. Fig. 5).

Il est ressorti de l'investigation du système de communication que la barrière de la langue existant sur le chantier ne constituait pas une contrainte dans l'activité du chantier.

¹ Nous tenons à signaler à ce niveau, que cette proposition métrologique a été testée au sein d'une entreprise sans que le suivi des actions de transformation n'ait pu être menée sur la durée de l'étude.



Figure 6. Mur nécessitant un doublage par placo et donc ne requiert pas un travail de finition exposant tel que le ponçage, la perforation, etc.

La compréhension des systèmes de communications internes au chantier a permis de discuter à la mise en place d'un système d'information sous forme de panneau lisible et compréhensible par tous les travailleurs du chantier peu importe la langue parlée.

En effet, la communication sur le chantier se fait essentiellement à travers des gestes et en montrant les outils ou zones d'activité souhaitées, ou encore en appelant le nom de l'outil. Sachant que la plupart des travailleurs ont plusieurs années d'expérience (confirmé par le chef de chantier), ils n'ont a priori pas besoin de beaucoup de consignes pour savoir exécuter les tâches quotidiennes.

Un système de communication sémiotique est également mis en œuvre dans l'activité sur le chantier d'une manière générale. Pour les maçons-finisisseurs, cela concerne des signes faits sur les murs (cf. Fig. 6) par le chef de chantier ou le chef des équipes dont la lecture permet au maçon-finisisseur de réaliser ses tâches sans réellement avoir besoin de discuter verbalement avec le chef de chantier. Ce sont des consignes non verbales permettant la réalisation de certaines tâches.

Le système d'information envisagé sous forme de panneau devra être testé en situation réelle pour savoir s'il y a des ajustements à effectuer ou non. Ce système de communication émane de la volonté des acteurs à mettre en place des transformations comprises par tous les travailleurs d'une manière générale.

Ce panneau sera présenté lors des ¼ d'heure sécurité, intégré dans le livret d'accueil des nouveaux travailleurs arrivants et sera affiché dans les endroits où les travaux les plus émissifs de poussière seront effectués.

D'autres actions ont également été envisagées notamment sur des compatibilités des matériels avec les systèmes de captation de poussières dès l'examen d'adéquation des matériels ou encore dès l'exécution des commandes. Ces actions concernent principalement la prise en compte de la largeur des échafaudages pour permettre aux travailleurs de travailler en toute sécurité et de pouvoir y amener le matériel nécessaire tel que le système de captation des poussières.

Discussion

Notre méthodologie mise en œuvre durant cette étude a permis de montrer la multi-causalité [21] des expositions aux poussières alvéolaires par inhalation et de ses différents déterminants. L'analyse conjointe des pratiques de sécurité réglée [22] à travers les dispositifs mis en place par l'entreprise hôte et aussi celle gérée [23] à travers les représentations et les stratégies de protection mises en œuvre par les opérateurs, a permis une compréhension large des situations d'exposition et une ouverture de la problématique vers la conception du chantier notamment. Cette méthodologie s'inscrit ainsi dans une approche constructive de la sécurité conjuguant la sécurité réglée et la sécurité gérée [24] et contribue à rendre les opérateurs des acteurs véritables de la prévention.

Le couplage de la mesure à la vidéo est une ressource pour produire des connaissances notamment sur les situations d'exposition, d'en comprendre les déterminants, de développer des actions collectives ou encore de favoriser un discours sur l'activité de travail [25]. L'usage de la mesure pendant l'entretien d'auto-confrontation est une technique assez peu répandue en ergonomie, mais reste très présent et important en ergotoxicologie. Cette importance tient au fait que les questions d'analyse des situations « à risque » où certaines stratégies défensives en lien avec le métier, ne peuvent être comprises qu'à travers ce couplage, notamment des stratégies de déni ou d'évitement face aux risques [26]. De plus, la plupart des produits toxiques notamment les particules de poussières alvéolaires sont invisibles à l'œil nu et ne sont observables qu'à travers des appareils spéciaux de mesure tels que le PDR 1500 utilisé durant cette étude.

Une des principales limites de cette étude est l'absence de mesure directe et en temps réel de poussière de silice cristalline. L'appareil utilisé, le PDR 1500, ne produit pas de résultats de mesure de concentration comparables aux valeurs réglementaires sur l'exposition aux poussières d'une manière générale, mais uniquement des données sur la concentration en poussière alvéolaire en temps réel.

La principale perspective vis-à-vis de cette méthodologie, concerne son applicabilité aux expositions à la silice cristalline alvéolaire. En effet, il n'existe pas aujourd'hui, à notre connaissance, d'appareil de mesure portable permettant une mesure en temps réel de la concentration en poussière de silice cristalline qui répondent à la réglementation.

En effet, les poussières et particulièrement la silice cristalline sont un sujet de préoccupation pour les travailleurs et les pouvoirs publics. En effet, en décembre 2017, l'Union européenne a ajouté à la liste des procédés cancérogènes les travaux exposant aux poussières de silice cristalline à travers sa directive (UE) 2017/2398 du 12 décembre 2017, et cette disposition a été transposée en droit français par l'arrêté du 26 octobre 2020. Ainsi, en France, depuis le 1^{er} janvier 2021, les travaux exposant aux poussières de silice cristalline sont considérés comme cancérogènes, ce qui impose une substitution et un contrôle des expositions. Certains organismes de prévention n'ont pas attendu la transposition en droit français pour s'intéresser au sujet, c'est le cas de l'OPPBTP qui a lancé sa campagne de mesurage de l'empoussièrisme appelée « Carto-silice » précédemment évoquée.

Pour rappel, la silice encore appelée dioxyde de silicium (SiO₂) constitue plus de 60 % de la croûte terrestre. En plus de cette présence naturelle, la silice est un minéral pouvant également être d'origine industrielle constituant ainsi sa variété synthétique. Elle existe à l'état libre sous forme amorphe (à faible toxicité) ou cristalline. La silice sous forme cristalline existe sous trois formes principales : le quartz, la cristobalite et la tridymite. La silice cristalline est présente dans de nombreuses roches et matériaux de construction utilisables directement sous forme naturelle (granit, grès, sable et ardoise) ou sous forme transformée (béton, mortier et ciment). De ce fait, les poussières de silice cristalline alvéolaires issues du béton se retrouvent dans l'air dans de nombreux secteurs d'activité, notamment celui du BTP [27].

Selon l'enquête Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels (SUMER) 2010, 294 852 salariés sont exposés à la silice cristalline, soit 1,36 % de la population salariée couverte par l'enquête [28]. En 2017, le nombre et la proportion de salariés exposés à la silice cristalline sont en augmentation avec 365 194 salariés exposés à la silice cristalline (1,47 % de la population salariée), soit une augmentation de 0,11 point selon la Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques [29]. En 2017, comme en 2010, le secteur d'activité ayant la plus grande proportion de salariés exposés est le secteur de la construction, avec un effectif de 170 414 travailleurs exposés à la silice cristalline (contre 156 800 en 2010), ce qui représente 12,3 % des travailleurs du secteur [29]. Selon cette enquête, il existe 200 à 300 cas par an d'affections professionnelles en lien avec une exposition à la silice, 41 cas sont attribuables au BTP, soit 20 % des affections professionnelles [29]. Au total 30 000 travailleurs seraient exposés à des niveaux supérieurs aux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) de 0,1 mg/m³ [27]. Deux tiers de ces niveaux d'exposition concernent le secteur du BTP [27].

Au regard des potentielles expositions aux poussières de silice cristalline dans le secteur du BTP, une des perspectives de cette étude serait d'effectuer des mesures de concentration de silice cristalline et de poussières alvéolaires en temps réel. Pour se faire, les auteurs envisagent à l'avenir deux modes opératoires complémentaires à la méthodologie décrite ici. Le premier consisterait en la mise en test de prototypes d'appareil permettant la mesure en temps réel de la concentration en poussière alvéolaire de silice cristalline. Le second se baserait sur la combinaison de mesures de poussière en temps réel (avec un PDR 1500) et de mesures de concentration de silice « conventionnelles » (avec un CP10 par exemple). En effet à condition que la matière poncée soit uniforme (voile béton issu d'un seul coulage par exemple), on pourrait supposer que la concentration en silice cristalline présente dans la poussière est relativement constante, ce qui nous permettrait d'extrapoler la concentration en temps réel de poussière silicogène à partir des mesures de fluctuation en temps réel de la concentration de poussière totale et de la quantité de silice mesurée sur le temps de l'activité.

La vidéo ainsi que les données de mesure nous ont servi d'objet intermédiaire. Les objets intermédiaires sont porteurs de trois registres qui s'articulent [30]. Il s'agit de la traduction, la médiation et la représentation. La vidéo et la mesure comme objet intermédiaire ont permis la mise en

lumière des représentations du « risque poussières » ainsi que des stratégies de protection chez les travailleurs. Cet objet intermédiaire a également été un médiateur des discussions lors de la restitution en permettant notamment d'évoquer les différents déterminants, tant au niveau micro que macroscopique dont certains sont situés hors de la sphère du chantier.

Les entretiens informels ainsi que l'entretien d'auto-confrontation nous ont permis de comprendre les représentations du « risque poussières » et d'autres difficultés matérielles ou organisationnelles qui rendent difficile la mise en œuvre de stratégies de protection. Cependant, il aurait été d'un apport intéressant pour cette étude, d'effectuer des entretiens d'auto-confrontation croisés et collectifs [31,32] sur l'activité de plusieurs travailleurs afin de comprendre plus finement l'activité des travailleurs exposés en termes de stratégies, de contraintes et de ressources. Ce regard croisé permettrait un partage de savoir-faire entre des travailleurs voire une rencontre de « *mondes professionnels* », il pourrait constituer un levier d'apprentissage inter et intra métiers et conduire au développement de l'activité des travailleurs voire à la construction d'un « *monde commun* » [33].

Enfin, cette méthodologie pourrait contribuer à la construction et la formalisation d'une bibliothèque de situations d'exposition caractéristiques (SECs) [16] permettant l'identification et la compréhension des différents déterminants plus ou moins interdépendants [2] voire d'une « *chaîne de déterminants* » [34] afin de contribuer au développement de la prévention de ce risque et de la santé des travailleurs. Les SECs pourraient également permettre la mise en place et l'animation d'un dispositif de simulation permettant de conjuguer les points de vue divers et parfois opposés des protagonistes, d'explorer les champs des possibilités [35], d'observer, de former, de corriger et également de concevoir et transformer le travail [36,37]. Les simulations permettront d'impacter sur les déterminants des SECs actuelles mais aussi ceux des futures situations de travail et contribuer à concevoir le travail constituant le défi actuel de l'ergonomie [5].

Conclusion

À l'instar des diverses méthodologies mises en œuvre en ergotoxicologie [16,19,38–40], la vidéo intégrée aux données issues des mesures constitue une base de ces méthodes en ergotoxicologie. Cet objet intermédiaire, étant également l'une des pièces principales de notre méthodologie présentée dans cet article, nécessite d'être ajusté, voire perfectionné par rapport au public concerné. En effet, le BTP en France est un secteur multiculturel [41], il est donc nécessaire de développer des méthodes et de moyens de communication adaptés à ce contexte afin que l'objet intermédiaire soit médiateur pour tous et que les mesures de prévention puissent être comprises voire construites par tous.

La méthodologie mise en œuvre a permis de rendre visible d'une part les situations d'exposition aux poussières alvéolaires par inhalation ainsi que leurs déterminants organisationnels et matériels, d'autre part, les savoir-faire des travailleurs de chantier en termes de stratégies de pro-

tection individuelle et collective. Dans un contexte en perpétuelle évolution du travail dans le secteur du BTP, cette méthodologie pourrait constituer un point de départ intéressant pour une conduite de projet de prévention des situations d'exposition aux poussières de silice cristalline. Ce projet pourrait intégrer une diversité d'acteurs appartenant à différentes sphères de l'organisation du travail sur le chantier dans un objectif de construire la prévention.

Remerciements

Les auteurs remercient le pôle risque de l'OPPBT à travers les équipes prévention de l'usure professionnelle (PUP) et risques chimiques et biologiques (RCB) qui ont rendu possible ce projet et l'université de Bordeaux pour la mise à disposition du matériel et du laboratoire d'analyse des données. Ils remercient également l'entreprise hôte de l'étude de cas présentée.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Ministère du Travail, de l'Emploi et de l'Insertion. Plan santé au travail 4. 2021.
- [2] Garrigou A. Le développement de l'ergotoxicologie : une contribution de l'ergonomie à la santé au travail [Habilitation à diriger des recherches], 2. Bordeaux: Université Victor Segalen Bordeaux 2; 2011.
- [3] Hubault F, Bourgeois F. L'activité, ressource pour le développement de l'organisation du travail. In: Ergonomie constructive [Internet]. Paris cedex 14: Presses Universitaires de France; 2013. p. 89–102 [cité 18 janv 2023. Hors collection. Disponible sur : <https://www.cairn.info/ergonomie-constructive-9782130607489-p-89.htm>].
- [4] Guérin F, Laville A, Daniellou F, et al. Comprendre le travail pour le transformer : la pratique de l'ergonomie. Lyon: ANACT; 2006.
- [5] Guérin F, Pueyo V, Béguin P, et al. Concevoir le travail, le défi de l'ergonomie. Octarès. Toulouse France: Travail et Activité Humaine; 2021.
- [6] Teiger C. L'approche ergonomique : du travail humain à l'activité des hommes et des femmes au travail. Éducation permanente. Paris; 1993. p. 71.
- [7] Wisner A. La méthodologie en ergonomie : d'hier à aujourd'hui. Performances humaines et techniques, 50. Marseille; 1990. p. 32–9.
- [8] Garrigou A, Baldi I, Dubuc P. Apports de l'ergotoxicologie à l'évaluation de l'efficacité réelle des EPI devant protéger du risque phytosanitaire : de l'analyse de la contamination au processus collectif d'alerte. Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé (Bordeaux), 10; 2008.
- [9] NIOSH. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to crystalline silica, 75. Department of Health Education, and Welfare - Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health; 1974. p. 130.
- [10] NIOSH. Hazard Review. Health effects of occupational exposure to respirable crystalline Silica. Cincinnati, OH: US Department of Health Education, and Welfare - Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health; 2002. p. 145.
- [11] OSHA. Final rule on occupational exposure to crystalline silica. Federal register 2016;81(58):605.
- [12] SCOEL. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Silica, Crystalline (respirable dust). SCOEL/SUM/94 2003:13.
- [13] Mohammed-Brahim B, Garrigou A. Une approche critique du modèle dominant de prévention du risque chimique : l'apport de l'ergotoxicologie. *Activites* 2009;06:49–67.
- [14] OPPBT. Rapport d'étude exploratoire : étude de l'émission des poussières de silice cristalline lors d'opérations du BTP [Internet]. France: OPPBT; 2022. p. 156 [Disponible sur : <https://www.carto-silice.fr/>].
- [15] Martin P, Galland B, Nicot T, et al. Exposition aux solvants organiques lors de la pose d'électrodes pour électroencéphalogrammes de longues durées. In: Documents pour le médecin du travail. Paris; 2011. p. 397–408.
- [16] Galey L. Comprendre les situations d'exposition aux nanoparticules par l'intégration de l'activité de travail à la mesure : vers une construction de la prévention [Thèse de doctorat en ergonomie]. Bordeaux: Université de Bordeaux; 2019.
- [17] Meunier P. Cardiofréquence-métrie pratique en milieu de travail : une approche objective de la pénibilité professionnelle. Paris, France: Éd. Docis; 2014.
- [18] Theureau J. L'entretien d'autoconfrontation comme composante d'un programme de recherche empirique et technologique. *Cahiers de l'INSEP* 2003;34:81–6.
- [19] Judon N. Rendre possible un espace intermédiaire de dialogue pour coconstruire de nouvelles solutions de prévention dans un contexte d'incertitude : cas des travaux de revêtements routiers [Thèse de doctorat en ergonomie]. Bordeaux: Université de Bordeaux; 2017.
- [20] Druart H. Étude de l'astreinte cardiaque par cardiofréquence-métrie des salariés d'une usine de production de sodium métal [Internet] [Thèse de doctorat en médecine diplôme d'État]. Grenoble Alpes: Université Grenoble Alpes; 2020 [Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03036241>].
- [21] Garrigou A, Peeters S, Jackson M, et al. 30. Apports de l'ergonomie à la prévention des risques professionnels. In: Ergonomie [Internet]. Paris cedex 14: Presses Universitaires de France; 2004. p. 497–514 [cité 29 nov 2022, (Hors collection). Disponible sur : <https://www.cairn.info/ergonomie-9782130514046-p-497.htm>].
- [22] Morel G, Amalberti R, Chauvin C. How good micro/macro ergonomics may improve resilience, but not necessarily safety. *Safety Science* 2009;47:285–94.
- [23] Rocha R. Du silence organisationnel au développement du débat structuré sur le travail : les effets sur la sécurité et sur l'organisation [Thèse de doctorat en ergonomie]. Bordeaux: Université de Bordeaux; 2014.
- [24] Nascimento A, Cuvelier L, Mollo V, et al. Construire la sécurité : du normatif à l'adaptatif. In: Ergonomie constructive [Internet]. Paris cedex 14: Presses Universitaires de France; 2013. p. 103–16 [cité 18 janv 2023, Hors collection. Disponible sur : <https://www.cairn.info/ergonomie-constructive-9782130607489-p-103.htm>].
- [25] Galey L. Incertitude face au risque dans l'innovation : vers la genèse des pratiques de sécurité. Le cas de l'usage des nanomatériaux. [Mémoire de Master en ergonomie]. Conservatoire national des arts et métiers; 2013.
- [26] Judon N, Hella F, Pasquereau P, et al. Vers une prévention intégrée du risque chimique lié à l'exposition cutanée au bitume des travailleurs de la route. Élaboration d'une méthodologie dans le cadre de l'ergotoxicologie. Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé (Bordeaux), 17; 2015.
- [27] Anses. Dangers, expositions et risques relatifs à la silice cristalline. France: Anses; 2019. p. 524.

- [28] INRS. Des risques professionnels contrastés selon les métiers : enquête SUMER 2010. INRS; 2014. p. 26.
- [29] DARES. Résultats généraux issus de l'enquête Sumer de 2017. Portail de la Fonction publique [Internet]; 2017 [Disponible sur : <https://www.fonction-publique.gouv.fr/resultats-generaux-issus-de-lenquete-sumer-de-2017>].
- [30] Jeantet A. Les objets intermédiaires dans la conception. Éléments pour une sociologie des processus de conception. *Sociologie du travail* 1998;40:291–316.
- [31] Clot Y, Faïta D, Fernandez G, et al. Entretiens en autoconfrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé* (Paris); 2000. p. 2.
- [32] Mollo V, Falzon P. Auto- and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics* 2004;35:531–40.
- [33] Béguin P. Innovation et cadre sociocognitif des interactions concepteurs-opérateurs : une approche développementale. *Le travail humain* 2007;70:369–90.
- [34] Bellemare M, Marier M, Montreuil S, et al. La transformation des situations de travail par une approche participative en ergonomie : une recherche intervention pour la prévention des troubles musculo-squelettiques. Québec: IRSST; 2002. p. 124 [Report No: R-292].
- [35] Daniellou F. Des fonctions de la simulation des situations de travail en ergonomie. *Activités* 2007;4:76–83.
- [36] Béguin P. Le caméscope, l'image et le mot. Quelques remarques sur l'usage de la vidéo pour l'analyse du travail. Paris: Champs visuels; 1997. p. 61–7.
- [37] Bobillier Chaumon ME, Rouat S, Laneyrie E, et al. De l'activité DE simulation à l'activité EN simulation : simuler pour stimuler. *Activités* 2018;15:24.
- [38] Albert M. Comprendre les situations d'exposition aux pesticides lors de l'utilisation des pulvérisateurs La conception et la réglementation comme chaîne de déterminants [Thèse de doctorat en ergonomie]. Bordeaux: Université de Bordeaux; 2022.
- [39] Goutille F. Ne plus ignorer les agriculteurs : une contribution de l'ergonomie à la prévention du risque pesticides en milieu viticole [Thèse de doctorat en ergonomie]. Bordeaux: Université de Bordeaux; 2022.
- [40] Jolly C. Les pratiques professionnelles des propriétaires exploitants agricoles sont-elles des ressources pour limiter l'exposition cutanée aux pesticides ? [Thèse de doctorat en ergonomie]. Montréal: Université du Québec; 2022.
- [41] Oliveira D, Thoemmes J. Circuler entre chantiers et pays : enquête sur les travailleurs détachés portugais dans le BTP en France. *SociologieS* 2017:16.