



EHESP

THESE DE DOCTORAT DE L'EHESP

ÉCOLE DOCTORALE N° 605

Biologie Santé

Spécialité : « *Santé publique* »

Par **Abir AACHIMI**

Amélioration des algorithmes d'évaluation des risques chimiques dans le logiciel Seirich

Thèse présentée et soutenue à Paris, le 17 Octobre 2022

Unité de recherche : Irset UMR 1085 Inserm et Département métrologie des polluants, INRS

Cette thèse a été préparée dans le cadre du Réseau doctoral en santé publique animé par l'École des Hautes Études en Santé Publique (EHESP)

Rapporteurs avant soutenance :

Isabelle BALDI Professeur des Universités - Praticien Hospitalier - Institut de santé publique, d'épidémiologie et de développement à Bordeaux
Dominique BICOUT Professeur des universités - l'université de Grenoble Alpes

Composition du Jury :

Président : Christophe PARIS Professeur des Universités – Praticien Hospitalier – CHU Rennes

Examineurs : Laurent MADEC Maître de conférences – IUT Saint-Denis, Université Sorbonne Paris Nord
 Natalie VON GOETZ Maître de conférence – ETH Zürich Swiss Federal Institute of Technology
 Sébastien HULO Professeur des Universités – Praticien Hospitalier – CHU Lille

Dir. de thèse : Nathalie BONVALLOT Professeur de l'EHESP, Irset UMR1085 Inserm
Co-dir. de thèse : Frédéric CLERC Responsable d'études INRS



EHESP

Titre : Amélioration des algorithmes d'évaluation des risques chimiques dans le logiciel Seirich

Mots clés : Seirich, algorithmes d'évaluation des risques, matrice des risques, amélioration, analyse d'impact

Résumé : Lancé en juin 2015, le logiciel Seirich est un outil qui aide les entreprises à évaluer leurs risques chimiques, les informe de leurs obligations réglementaires et contribue à la mise en place d'un plan d'action de prévention. Afin de suivre les mises à jour réglementaires, d'apporter des évolutions ergonomiques et d'ajouter de nouvelles fonctionnalités, plusieurs modifications ont été apportées dans différentes versions de Seirich.

L'objectif de ce projet est d'améliorer les algorithmes d'évaluation des risques chimiques de Seirich. La démarche de recherche repose sur 3 phases principales : (1) la constitution d'une matrice des situations de travail associées à une valeur de risque chimique établi par expertise selon la méthode de Delphes. Les situations de travail ont été recueillies à partir de rapports rédigés par des professionnels de l'assurance maladie publique française. Chaque situation de travail est définie par des paramètres descriptifs de la tâche, de l'exposition et du danger. Chaque situation de travail a été ensuite évaluée et un score de risque chimique a été défini par 21 experts (2) établissement de propositions d'amélioration basées sur la comparaison du score de risque Seirich avec ceux des experts ; l'examen d'autres modèles d'évaluation des risques/expositions et le retour d'expérience des utilisateurs de Seirich. (3) Evaluation de l'impact de chaque amélioration sur l'évaluation des risques a été évalué à partir de près de 10 000 situations réelles de travail fournies par les entreprises.

En terme de résultats, quatre-vingt-huit situations de travail ont été recueillies et évaluées. Différents types d'entreprises sont représentés par ces situations de travail. Les secteurs d'activité les plus représentés étaient: le BTP (16 %), l'automobile (11 %), la métallurgie (11 %) et l'imprimerie (7 %). Les experts ont donné des scores de risque compris entre 40 et 60 pour 50 % des situations de travail. Les niveaux d'incertitude variaient de 11 % à 33 % avec une moyenne de 20 %. Au cours de la deuxième phase, une liste de 14 limites de Seirich a été élaborée. Des critères de pertinence, de faisabilité et de stratégie ont été appliqués pour identifier les limites à traiter. Sept ont été sélectionnés et une solution basée pour chacune d'elles. Enfin, l'analyse d'impact de l'ensemble des propositions montre que le score de risque a évolué pour 35% des situations de travail avec une modification du niveau de risque pour 6% d'entre elles. Ces améliorations proposées et leur étude d'impact ont été présentées au comité de pilotage du logiciel qui a statué sur leur application. 5/7 améliorations ont finalement été acceptées et les deux restantes sont toujours en cours de discussion.

Title : Improvement of Seirich chemical risk assessment algorithms

Keywords: Seirich, risk assessment algorithms, risk matrix, improvement, impact analysis

Abstract : Launched in June 2015, the Seirich software is a tool that helps companies to assess their chemical risks, informs them of their regulatory obligations and contributes in setting up a prevention action plan. In order to follow the regulatory updates, to provide ergonomic evolutions and to add new functionalities, several modifications have been made in different versions of Seirich. The aim of this project is to improve the chemical risk assessment algorithms of Seirich.

The research approach is based on 3 main phases: (1) constitution of a matrix of work situations associated to a chemical risk value assessed by experts. Work situations with their descriptive determinants were collected from reports written by professionals from public French health insurance. (2) Improvement proposals based on the comparison of Seirich risk score with the experts' assessment; the examination of other risk/exposure assessment models and the feedback from Seirich users. (3) evaluation of the impact of each improvement modification on the risk assessment was evaluated using nearly 10,000 real work situations provided by companies.

In the first phase, Eighty-eight French work situations were collected and assessed. Various types of companies are represented by these work situations. The most represented activity sectors were: building and construction (16 %), automotive (11 %), metallurgy (11 %), and printing (7 %). The experts have given risk scores comprised between 40 and 60 to 50% of the work situations. The uncertainty levels rang from 11% to 33% with an average of 20%. During the second phase, a list of 14 limits was elaborated. Criteria of relevance, feasibility and strategy were applied to identify those to be treated. Seven limits were selected and a solution was proposed. Finally, The results of the impact analysis show that the risk score has changed for 35% of the work situations with a modification in the risk level for 6% of them. The proposals and their impact study were presented to the software steering committee who decided on their application. 5/7 improvements were finally accepted and the two remaining are still under discussion.



Amélioration des algorithmes d'évaluation des risques chimiques dans le logiciel Seirich

Par : AACHIMI Abir

Ecole doctorale : Biologie Santé

Réseau doctoral de l'EHESP : Parcours Santé, Environnement et Travail

Unité de Recherche : : Irset UMR 1085 Inserm et Département de Métrologie des polluants INRS

Directeurs de Thèse : Nathalie Bonvallot, Frédéric Clerc

« Ce qui fait que je suis moi-même et pas un autre, c'est que je suis ainsi à la lisière de deux pays, de deux ou trois langues, de plusieurs traditions culturelles. C'est cela qui définit mon identité. Serais-je plus authentique si je m'amputais de moi-même ? »

Amin Maalouf

REMERCIEMENTS

Je dois une immense gratitude aux nombreuses personnes qui ont participé de près ou de loin à cette aventure académique. L'aboutissement de ce travail est une réussite collective qui n'aurait jamais eu lieu sans leur contribution.

Je tiens à exprimer mon entière reconnaissance à Isabelle Baldi et Dominique Bicout pour avoir accepté de juger mon travail en qualité de rapporteurs. Je remercie également Natalie Von Goetz, Laurent Madec, Christophe Paris et Sébastien Hulo pour leur participation en tant que membres du jury.

Je remercie du fond du cœur Frédéric Clerc, co-directeur de thèse, de m'avoir fait confiance, en me proposant de m'engager dans cette aventure, pour tout le temps qu'il m'a consacré, ses directives précieuses, et pour la qualité de son suivi durant toute cette période de thèse. Je remercie vivement Nathalie Bonvallot d'avoir accepté de diriger cette thèse, pour sa disponibilité, son soutien et ses conseils précieux surtout lors de la dernière ligne droite (quand j'étais à bout de souffle...).

Mes remerciements vont également à Florian Marc, chef de projet Seirich qui s'est toujours montré disponible, patient et de bon conseil. Sans oublier les membres de l'équipe Seirich (Stéphane Miraval et Nathalie Toulemonde) pour leur soutien et conseils tout au long de mon parcours.

Je remercie les membres de mon comité de suivi individuel (Rodolphe Lebreton et Didier Dubreuil) pour le suivi de mes travaux et leurs conseils adressés lors de nos rencontres.

J'adresse mes sincères remerciements à Benoit Courrier, qui a accepté de m'accueillir au sein du département métrologie des polluants, pour ses encouragements et sa bienveillance tout au long de ces années passées.

Un immense merci à toutes les personnes qui ont partagé mon quotidien tout au long de cette expérience : Nathalie, Aurélie, Bénédicte, Barbara, Sarah, Jean-François, Andrea, Marilyne, Hanane, Hasna, Manuella, Gautier, Solal, Cassandra, François, Radia... Et la liste est encore longue. Merci beaucoup pour tous vos sourires, soutiens et encouragements.

Mes remerciements vont également à l'INRS, l'EHESP, et l'Université de Rennes I. A tous les professionnels rencontrés durant mon parcours, pour leur générosité et leur contribution pour ce travail.

Je témoigne toute ma reconnaissance du fond de mon cœur à mes très chers parents qui ont su me faire confiance et m'inculquer l'amour du travail bien accompli et la persévérance dans la vie malgré tous ses obstacles.

Infiniment merci à mon mari Amine, mes frères et sœurs, mes deux « Imanes » pour m'avoir supporté aux moments les moins évidents et de m'avoir soutenue pour que je donne le meilleur de moi-même.

A tous ceux que je n'ai pas pu citer... Vous savez déjà tout !

A ma famille,

A mes amis,

A mes lecteurs,

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	1
LISTE DES ILLUSTRATIONS.....	11
LISTE DES ABREVIATIONS.....	13
CONTEXTE DE LA THESE.....	15
CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE.....	17
I. La prévention des risques professionnels.....	19
I.1. Le travail : un déterminant important de la santé.....	19
I.2. La structuration de la prévention des risques professionnels.....	20
I.3. Les acteurs.....	22
I.4. La démarche de prévention des risques professionnels.....	25
I.5. Les moyens et leviers mis en place.....	27
I.5.1. Les moyens techniques.....	27
I.5.2. Les moyens organisationnels.....	27
I.5.3. La formation et l'information.....	27
I.5.4. L'incitation financière.....	28
II. L'évaluation des risques professionnels.....	28
II.1. Les méthodes d'analyse des risques.....	29
II.1.1. Identification des causes.....	30
II.1.2. Analyse de criticité.....	30
II.1.3. Matrice de risque.....	31
II.2. Focus sur l'évaluation des risques chimiques.....	32
II.2.1 Les approches existantes.....	32
II.2.2. Les outils mis en place pour aider les entreprises.....	34
II.2.3. Le logiciel Seirich.....	36

CHAPITRE 2. OBJECTIF ET STRATEGIE GENERALE DE LA THESE	59
I. Objectif	61
II. Stratégie générale	61
CHAPITRE 3. CONCEPTION D'UNE MATRICE QUI LIE DES SITUATIONS DE TRAVAIL A DES NIVEAUX DE RISQUE CHIMIQUE	65
I. Introduction.....	68
II. Matériel et méthode	68
II.1. Identification des situations de travail et collecte de données pertinentes	68
II.2. Évaluation des risques avec la technique de Delphes	68
II.3. Agrégation des scores de risque	68
III. Résultats	68
IV. Discussion	68
IV.1. Les déterminants utilisés pour la caractérisation des dangers et des expositions ..	68
IV.2. La méthode de jugement d'experts utilisée pour évaluer le risque chimique	68
IV.3. Les limites de l'étude	68
V. Conclusion	68
CHAPITRE 4. AMELIORATION DES ALGORITHMES DE SEIRICH	83
I. Identification des limites dans les algorithmes de Seirich	85
I.1. Comparaison des évaluations issues de l'expertise et du logiciel Seirich	85
I.1.1. Matériel et méthode	85
I.1.2. Résultats	86
I.2. Constats des utilisateurs	90
I.3. Comparaison de Seirich avec d'autres outils disponibles à l'étranger	92
I.3.1. Comparaison des paramètres d'entrée utilisés dans Seirich avec d'autres outils disponibles à l'étranger	92
I.3.1.1. Matériel et méthode	92

I.3.1.2. Résultats	92
I.3.2. Comparaison des évaluations de Seirich à l’outil TREXMO	95
II. Synthèse des limites identifiées	96
III. Choix des limites pour lesquelles des améliorations seront proposées	97
III.1. Matériel et méthodes	97
III.2. Résultats.....	100
III.2.1. Matrice de décision	100
III.2.2. Solutions envisagées pour les limites retenues	101
CHAPITRE 5. ANALYSE D’IMPACT DES AMELIORATIO	107
I. Matériel et Méthode.....	109
I.1. Collecte d’inventaires.....	109
I.2. Analyse descriptive des inventaires.....	110
II. Résultats.....	112
II.1. Analyse d’impact de chaque amélioration	112
II.1.1. Amélioration de la prise en compte du procédé « clos » pour l’inhalation (limite B).....	112
II.1.2. Amélioration de la prise en compte du scénario « pas de contact » pour la voie cutanée (limite C)	113
II.1.3. Amélioration de la manipulation de faibles quantités de produits sous le procédé dispersif (limite D)	113
II.1.4. Amélioration des scores de captages (limite G).....	114
II.1.5. Amélioration de la prise en compte des poudres nanométriques (limite M) ..	115
II.1.6. Amélioration de la prise en compte des dangers des produits solides non classés par le CLP pour la santé (limite A)	116
II.1.7. Amélioration de la prise en compte de la notion « champ proche/champ lointain » (limite K)	116
II.2. Analyse d’impact de la combinaison de toutes les améliorations	117

CHAPITRE 6. DISCUSSION GENERALE	119
I. L'originalité de la méthode employée	121
I.1. Comparaison de l'outil Seirich à des données de références.....	121
I.2. Analyse d'incertitude	122
I.3. Utilité de la méthodologie développée	122
II. Les limites du travail.....	123
II.1. Le manque de représentativité dans les données utilisées.....	123
II.1.1. Dans la matrice des situations de travail	123
II.1.2. Dans les inventaires collectés	124
II.2. La simplification paramétrique	124
II.2.1 L'absence d'utilisation des données d'expositions quantitatives.....	124
II.2.2. Caractérisation du danger à partir du règlement CLP	125
III. Apports complémentaires du travail	126
IV. Mise en application des résultats de la thèse.....	129
CHAPITRE 7. PERSPECTIVES	131
I. Amélioration de la méthodologie d'évaluation du risque par voie cutanée	133
II. Comparaison des outils existants	133
III. Prise en compte de de l'utilisation de produits multiples	134
IV. Evaluation de l'impact de Seirich sur la prévention des risques.....	135
REFERENCES	137
ANNEXES.....	145
Annexe 1. Principes généraux de la prévention des risques professionnels	147
Annexe 2. Les situations de travail et niveaux de risque experts et Seirich	149
Annexe 3. Rapport de synthèse du premier tour d'expertise.....	167
Annexe 4. Rapport de synthèse du deuxième tour d'expertise et comparaison des résultats à Seirich.....	175

Annexe 5. Comparaison des évaluations de Seirich à l’outil TREXMO.....	197
Annexe 6. Propositions d’amélioration pour les algorithmes d’évaluation du risque incendie/explosion du logiciel Seirich	201
VALORISATION	203
Articles	203
Communications orales	203
Communications affichées	203
Autres valorisations liées au projet	213

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Les différents acteurs en prévention des risques professionnels.....	24
Figure 2. Processus de la démarche de prévention des risques professionnels	26
Figure 3. Proposition de définition du risque par la combinaison de la probabilité de survenue d'un évènement indésirable au regard de sa sévérité.....	29
Figure 4. Exemple de diagramme d'Ishikawa à 6 catégories pour l'identification des causes d'un effet constaté (adapte selon la fiche technique de l'ingénieur (25)).	30
Figure 5. Approche de base de la méthode MADS-MOSAR (adapté selon Périlhon 2007 (34))	31
Figure 6. Exemple simplifié de la matrice de risque en deux dimensions.....	32
Figure 7. Démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires adaptée selon le NRC 1983 (d'après Bonvallot et al. 2021).	33
Figure 8. Stratégie générale de la thèse	63
Figure 9. Comparaison entre les scores obtenus par l'expertise et ceux obtenus par le logiciel Seirich pour l'ensemble de situations de travail de la matrice.	87
Figure 10. Matrice de décision pour le choix des limites de Seirich à considérer.	100
Figure 11. Evaluation du risque de Seirich d'une situation mettant en œuvre un procédé clos. a) Situation Actuelle, b) Proposition d'amélioration.	101
Figure 12. l'évaluation du risque de Seirich pour le scénario « pas de contact cutané ».	102
Figure 13. Amélioration proposée pour la prise en compte des poudres nanométriques.....	104
Figure 14. Amélioration proposée pour l'évaluation des dangers des produits solides sans mention de danger pour la santé.....	105
Figure 15. Prise en compte du paramètre d'éloignement dans le logiciel Seirich.	106
Figure 16. Copies d'écran de la plateforme de collecte des inventaires	110
Figure 17. Extrait du fichier Excel des situations de travail issus des inventaires collectés. .	111
Figure 18. Résultat du test des changements effectués pour l'évaluation du risque pour des situations mettant en œuvre un procédé clos.....	112
Figure 19. Résultats du test des changements effectués pour l'évaluation du risque lors du scénario « pas de contact cutané » : a) pour les effets systémiques b) pour les effets locaux.	113

Figure 20. Résultats du test d'impact pour l'amélioration de la prise en compte de la manipulation de faibles quantités de produits sous le procédé dispersif	114
Figure 21. Résultat d'impact de modification des scores des captages hors cabines	115
Figure 22. Résultats de test d'impact pour la prise en compte des poudres nanométriques. Test réalisé uniquement pour le changement de score de la modalité « poudre fine »	115
Figure 23. Résultat du test d'impact pour la proposition d'amélioration de la prise en compte des dangers des produits solides non classés par le CLP pour la santé	116
Figure 24. Résultats du test d'impact sur un échantillon de 667 situations pour la proposition d'une meilleure prise en compte de la notion « champ proche/champ lointain »	117
Figure 25. Copie d'écran de l'interface du logiciel Seirich pour l'ajout d'un produit étiqueté selon le CLP au niveau du menu « Gestion des produits étiquetés et des agents chimiques émis »	127
Figure 26. Copie d'écran de l'interface du logiciel Seirich pour l'ajout d'un agent chimique émis ou un produit hors champ d'application du CLP au niveau du menu « Gestion des produits étiquetés et des agents chimiques émis »	128
Figure 27. Proposition d'amélioration de la visibilité des agents chimiques émis au niveau du menu « Gestion des produits étiquetés et des agents chimiques émis » dans l'interface du logiciel Seirich	129
Tableau 1. Paramètres d'exposition utilisés par les outils d'évaluation du risque COSHH, Chemical Control Toolkit, TRA, Stoffenmanager (et nano), Nanosafer, et Seirich	93
Tableau 2. Liste des limites identifiées dans Seirich à partir de la comparaison avec la matrice de risque issue de l'expertise, les retours d'utilisateurs et la comparaison avec les autres outils d'évaluation des risques en entreprise existant dans d'autres pays.	96
Tableau 3. Critères de sélection des points d'amélioration identifiés.	98
Tableau 4. Calcul des scores des limites identifiées selon les critères de sélection	99
Tableau 5. Les différents types de captages dans Seirich, leurs scores actuels et la proposition de correction.	103
Tableau 6. Répartition des changements des niveaux de risque selon le sens de changement	118

LISTE DES ABREVIATIONS

AMDEC : méthode d'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

ANACT : agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail

APR : analyse préliminaire de risque

ARACT : réseau régional de l'agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail

AT-MP : branche accidents du travail et maladies professionnelles de l'assurance maladie

BAuA : Institut fédéral pour la santé et la sécurité des travailleurs (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Allemagne)

CEA : commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

CLP: classification, labelling, packaging

CNAM : caisse nationale d'assurance maladie

CNPP : centre national de prévention et de protection

CSE : comité social et économique

CSSCT : commission santé, sécurité et conditions de travail

DGT : direction générale de travail

Dreets : directions régionales de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités

DUER : document unique de l'évaluation des risques

EvRP : évaluation des risques professionnels

FDS: fiches de données de sécurité

HAZOP: hazard and operability studies

HSE : hygiène sécurité environnement

ICI: imperial chemical industries society

ILO: international labor organization

INRS : institut national de recherche et sécurité au travail

IRP : instance représentative du personnel

IPRP : intervenants en prévention des risques professionnels

MADS : méthodologie d'analyse des dysfonctionnements dans les systèmes

MOSAR : méthode organisée systémique d'analyse des risques

MSA : mutualité sociale agricole

NAF : nomenclature d'activités française

NRC: conseil national de la recherche (national Research Council- Etats-Unis)

OPPBTP : organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics

PME : petites et moyennes entreprises

RGPD : règlement général sur la protection des données

Seirich : système d'évaluation et d'information sur le risque chimique en milieu professionnel

SGH : système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques

Sipev : syndicat national des industries des peintures, enduits et vernis

SPST : service de prévention et de santé au travail

TNO : organisation néerlandaise pour la recherche scientifique appliquée (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research).

TPE : très petites entreprises

UIMM : union des industries et des métiers de la métallurgie

CONTEXTE DE LA THESE

Le logiciel Seirich est un outil d'évaluation des risques chimiques en entreprise, développé par l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS). Il harmonise les méthodes existantes d'évaluation des risques chimiques dans les environnements de travail en France et assure la cohérence des actions de prévention. Cette thèse a été conçue dans la perspective de pérenniser Seirich et de renforcer son statut de méthode de référence en évaluation des risques chimiques en milieu de travail en France. L'expérience acquise après quelques années d'utilisation de cet outil par les entreprises a dans certains cas montré des écarts entre les situations du terrain et les estimations proposées par le logiciel. Aussi, l'objectif de cette thèse est d'améliorer les algorithmes du logiciel pour que les résultats produits soient au plus près de la réalité du terrain.

La thèse portant sur la thématique de l'évaluation des risques chimiques en entreprise, l'introduction générale portera d'abord sur la démarche de prévention des risques professionnels. Un état de l'art sera ensuite proposé sur les méthodologies d'évaluation des risques avec un focus sur le risque chimique et les outils développés à cette fin dans le domaine de la santé au travail. La méthode d'évaluation du risque de Seirich sera ensuite détaillée. Cependant, les scores attribués à chaque déterminant sont confidentiels, ils ne sont donc pas donnés et sont remplacés par des lettres selon les besoins.

CHAPITRE 1. INTRODUCTION GENERALE

I. La prévention des risques professionnels

I.1. Le travail : un déterminant important de la santé

En santé publique, le domaine de la santé au travail vise à étudier l'impact du travail sur la santé et à éliminer ou à contrôler les conditions de travail entraînant des effets néfastes sur la santé physique et mentale des travailleurs (1). Ainsi, il est admis que la qualité de vie au travail est un déterminant important de la santé et que l'environnement de travail ne devrait pas présenter de risque générant des maladies ou des accidents. Cependant, plusieurs milliers de travailleurs dans le monde restent exposés à des facteurs de risque, tant dans les pays développés que dans les pays en voie d'industrialisation rapide. Selon les estimations de 2010 de l'organisation internationale du travail (ILO), le nombre de lésions professionnelles non mortelles est estimé à 313 millions par année (2) et selon les estimations de l'ILO et de l'organisation mondiale de santé (OMS) de 2016, le nombre de décès liés aux maladies et traumatismes dans le cadre du travail s'élèverait à presque 2 millions par an dans le monde (3). A l'échelle de l'Europe de l'ouest, selon des estimations de 2017, ce sont un peu plus de 3 millions d'années de vie en bonne santé qui ont été perdues (4). Les pathologies incriminées sont principalement les cancers, affections respiratoires, les pathologies cardiovasculaires et les troubles musculosquelettiques. Les accidents du travail représentent aussi une grande part.

Les facteurs de risque liés au travail sont nombreux (5) : Ils peuvent être d'ordre organisationnel, notamment l'exposition à de longues heures de travail, le travail sans repos, répétitif ou le travail posté. Ils peuvent aussi être d'ordre relationnel générant un stress quotidien dû à tous les désagréments rencontrés pendant le travail (6). Ils peuvent également être d'ordre physique (ex. des emplois physiquement exigeant, des postures pénibles, du travail de manutentions manuelles de charge ou encore les vibrations mécaniques), chimique (ex. de l'utilisation de produits dangereux ou de l'exposition à des émissions toxiques) et biologique (lié à la présence d'agents biologiques pathogènes comme des bactéries, virus, parasites ou champignons). Aussi, parmi ces facteurs, les nuisances chimiques sont prépondérantes : Selon les estimations de Rushton (2017) (4), plus d'un million d'année de vie

en bonne santé ont été perdues en Europe en raison de l'exposition aux agents cancérigènes. En France, plus de 50 % des agents cancérigènes avérés chez l'Homme se trouvent dans l'environnement professionnel (7), et plus de 3 millions de travailleurs sont exposés au travers de leur activité (8).

Aussi la prévention des risques professionnels demeure un sujet majeur aujourd'hui et de nombreuses actions doivent être mises en place pour supprimer ces facteurs de risques ou réduire leurs expositions.

I.2. La structuration de la prévention des risques professionnels

La question du rapport entre santé et travail est très ancienne. Un manuscrit sur papyrus de 2500 ans avant Jésus-Christ décrit la lombalgie aiguë « mal au dos » survenue chez un ouvrier égyptien ayant participé à la construction d'une pyramide (9). De plus, la pathologie des coliques de plomb a été identifiée par Hippocrate dès 460 avant J.C chez les travailleurs des mines de plomb. L'initiateur en matière de prévention des risques professionnels est le médecin italien Bernardino Ramazzini (1633 – 1714), nommé le « premier préventeur ». Dans son traité des maladies des artisans « *morbis artificum diatriba* » publié en 1700, ce médecin avait identifié deux causes principales de maladies : la nocivité des produits utilisés et les positions pénibles des travailleurs lors de leurs activités (10). A cette époque, une approche centrée sur la protection individuelle était le seul moyen préventif.

En France, c'est au cours du développement industriel du 19^{ème} siècle que le principe de la protection de la santé et de la sécurité au travail a commencé à se développer (11) : depuis 1810, un processus de création de législation préventive de la santé des travailleurs a été engagé par l'Etat, avec la promulgation de plusieurs lois relatives à la protection des travailleurs des mines, et au travail des femmes et des enfants (12)¹. Ce n'est qu'au début du 20^{ème} siècle qu'un ensemble de règles à suivre en matière d'hygiène et de sécurité au travail a été mis en place, suite à la création du ministère du Travail en 1906, et à la naissance du

¹ Loi du 21 avril 1810 concernant la protection des travailleurs des mines, loi du 22 mars 1841 concernant la protection des enfants avec l'interdiction du travail des enfants de moins de 8 ans, loi du 19 mai 1874 interdisant le travail de nuit pour les filles mineures et pour les garçons de moins de 16 ans et loi du 2 novembre 1892 visant à cadrer le travail des femmes et des enfants dans les établissements industriels

Code du travail, dont une partie est consacrée à l'hygiène et la sécurité au travail. Ce code fixe pour la première fois les principes généraux de protection des travailleurs, imposant ainsi la déclaration de tout accident du travail et de toute maladie professionnelle ainsi que les mesures d'amélioration des conditions d'hygiène et de sécurité (9).

Après la seconde guerre mondiale, une nouvelle période commence avec la création de plusieurs institutions chargées de la santé au travail (13) : l'inspection du travail qui veille à l'application de la réglementation, la branche accidents du travail et maladies professionnelles appelée « AT-MP » de la Sécurité Sociale qui s'occupe de la prévention des risques professionnels et la gestion des suites des accidents de travail et maladies professionnelles (indemnisation, suivi...) et la médecine du travail, avec à la fois des spécialités médicales et préventives.

C'est dans un contexte d'augmentation des accidents de travail et maladies professionnelles qu'un nouveau tournant réglementaire est pris avec la loi du 6 décembre 1976² promulguée suite à des mouvements sociaux revendiquant la sécurité et la protection de la santé au travail (14). Elle a introduit le concept de la sécurité avec des dispositions relatives à la formation des travailleurs aux problématiques de santé et de sécurité au travail qui sont ainsi rendues obligatoires pour l'employeur. L'objectif est de mettre en place une organisation de travail adaptée (aussi bien du point de vue technique que du point de vue organisationnel) et de permettre aux travailleurs de connaître les différents risques auxquels ils sont exposés.

Suite à l'influence de la réglementation Européenne liée à la directive du 12 juin 1989³ sur l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs sur le lieu de travail, deux autres lois ont été promulguées en France⁴ : la première favorise la prévention des risques professionnels en termes de santé et de sécurité et la seconde précise les responsabilités de l'employeur en terme de réparation des salariés victimes d'accidents de travail.

² Loi du 6 décembre 1976 relative au développement de la prévention des accidents du travail

³ Directive du 12 juin 1989 concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs au travail

⁴ Loi du 31 décembre 1991 modifiant le Code du Travail et le Code de la santé publique en vue de favoriser la prévention des risques professionnels et portant transposition de directives européennes relatives à la santé et à la sécurité du travail ; Loi du 9 avril 1998 concernant les responsabilités dans les accidents du travail

Depuis, des progrès notables ont été accomplis en matière de santé et sécurité au travail. Elle demeure un sujet majeur pour les entreprises, qui aujourd'hui investissent de plus en plus dans l'amélioration des conditions de travail, pour une bonne qualité du travail et durabilité économique.

I.3. Les acteurs

L'acteur principal de la prévention est l'employeur. Il est obligé, par le Code du travail, d'assurer la santé et la sécurité de ses travailleurs. Il doit veiller à la mise en place d'une organisation et de moyens adaptés tout en tenant compte de tout changement susceptible de mettre en danger la santé des travailleurs (15).

Dans l'entreprise, d'autres acteurs ont un rôle en matière de prévention des risques : le(s) salarié(s) compétent(s) désigné(s) par l'employeur pour s'occuper des activités de protection et de prévention des risques professionnels. Les instances représentatives du personnel (IRP) qui assurent, entre autres, le dialogue social interne et formulent des propositions d'améliorations à l'employeur : il s'agit du comité social et économique (CSE, anciennement comité d'entreprise) composé de représentants du personnel, du chef d'entreprise ou son représentant, et des représentants syndicaux ; et de la Commission santé, sécurité et conditions de travail (CSSCT, anciennement comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail), obligatoire pour les entreprises de plus de 300 employés. Le service de prévention et de santé au travail (SPST) a pour mission de conseiller et orienter employeurs et employés vers des actions permettant d'éviter toute altération de la santé physique et mentale des salariés. L'employeur peut mettre en place ce service au sein de l'entreprise si l'effectif dépasse 500 personnes, ou d'adhérer à un service de santé dans le cas contraire. Les missions de ce service sont assurées par des médecins du travail, des intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP) ou d'autres personnels spécialisés en santé et sécurité (12).

Hors de l'entreprise, la branche accidents du travail et maladies professionnelles (AT-MP) de l'Assurance maladie est chargée de l'élaboration de plans d'actions garantissant la réparation des victimes d'accidents de travail et maladies professionnelles. Cet acteur s'appuie au niveau national sur la Caisse nationale d'assurance maladie (Cnam) qui gère et oriente les services régionaux de prévention des caisses d'assurance retraite et de la santé au travail. L'une de leurs missions est d'aider les entreprises à évaluer les risques et établir des

plans d'actions de prévention. Pour le domaine agricole, c'est la Mutualité sociale agricole (MSA) qui se charge de la santé et de sécurité au travail, que ce soit dans les exploitations agricoles ou dans les entreprises relevant du régime agricole. Par ailleurs, l'agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail (Anact) et le réseau des Agences régionales pour l'amélioration des conditions de travail (Aract) (16) assurent la qualité de vie au travail en aidant les entreprises, surtout les petites et moyennes entreprises (TPE-PME), à améliorer les conditions de travail en s'appuyant sur des méthodes et outils de prévention efficaces.

L'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS, www.inrs.fr), met en œuvre des programmes d'étude et de recherche dans plusieurs domaines des risques professionnels et propose des actions de formation et d'aide pédagogique, d'information, de sensibilisation et de communication pour tous ceux qui sont concernés par la prévention des risques en entreprise (employeurs, salariés, agents du réseau de l'Assurance maladie, services de santé au travail, etc.). L'INRS assure également des missions d'assistance technique, juridique, médicale et documentaire en réponse aux sollicitations des personnes concernées (17). Parallèlement, l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBT, www.oppbt.com) s'occupe de la prévention des risques professionnels spécifiquement pour ces secteurs.

Enfin, au niveau de l'Etat, la Direction générale du travail (DGT) du Ministère du Travail s'occupe de l'élaboration et de l'application des textes législatifs et réglementaires pour assurer l'amélioration des conditions de travail et la protection de la santé et sécurité des salariés (18). Les actions de cette direction sont relayées sur le terrain par les Directions régionales de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités (Dreets).

Les différents acteurs en prévention des risques professionnels sont présentés dans la Figure 1.

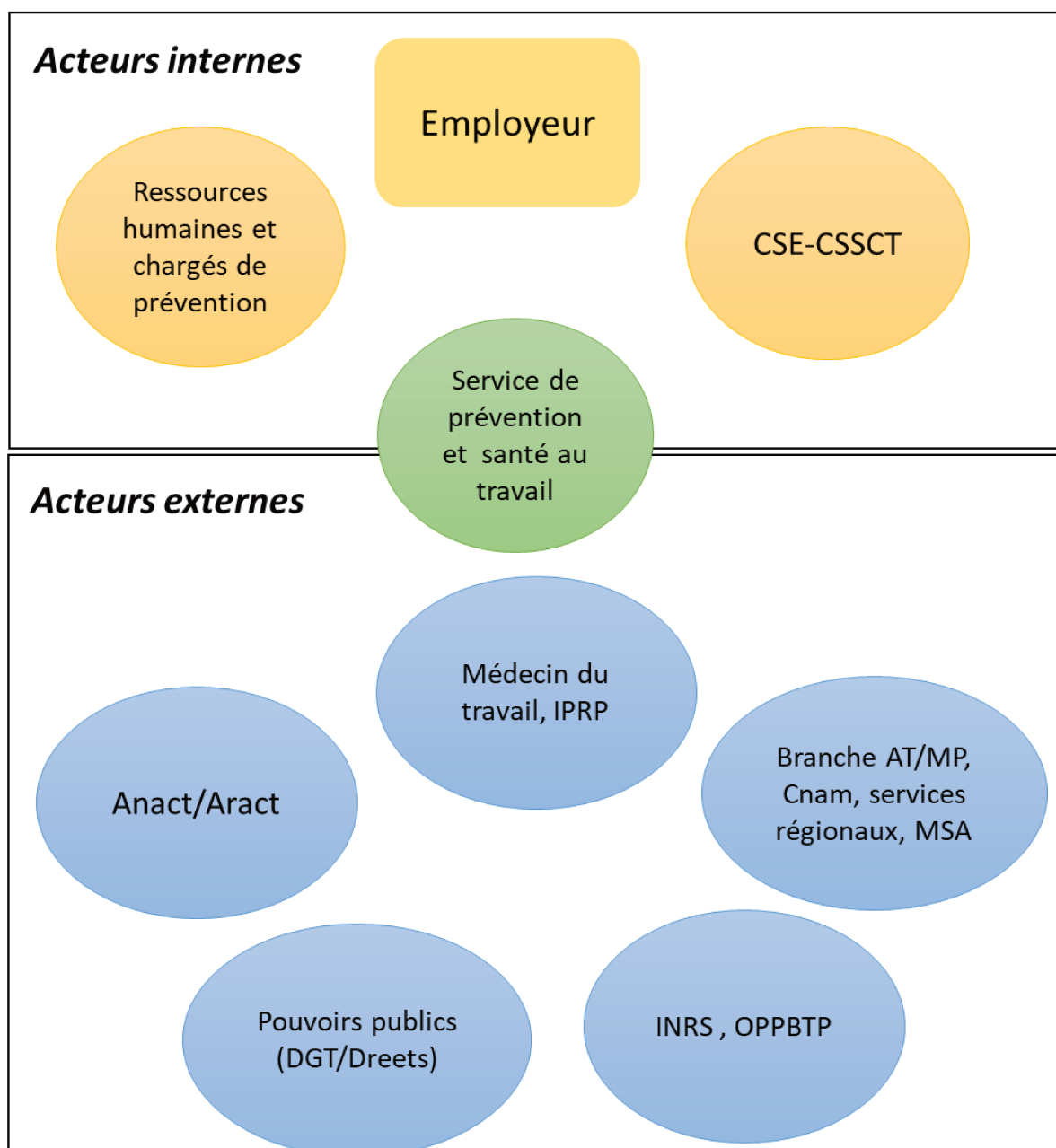


FIGURE 1. LES DIFFERENTS ACTEURS EN PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

ANACT: AGENCE NATIONALE POUR L'AMELIORATION DES CONDITIONS DE TRAVAIL

ARACT: AGENCE REGIONALE POUR L'AMELIORATION DES CONDITIONS DE TRAVAIL

CSE: COMITE SOCIAL ET ECONOMIQUE

CSSCT: COMMISSION SANTE, SECURITE ET CONDITIONS DE TRAVAIL

DGT: DIRECTION GENERALE DU TRAVAIL

DREETS: DIRECTION REGIONALE DE L'ECONOMIE, DE L'EMPLOI, DU TRAVAIL ET DES SOLIDARITES

INRS: INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE POUR LA PREVENTION DES ACCIDENTS DU TRAVAIL ET DES MALADIES PROFESSIONNELLES

IPRP: INTERVENANTS EN PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

MSA : MUTUALITE SOCIALE AGRICOLE

OPPBTP: ORGANISME PROFESSIONNEL DE PREVENTION DU BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

I.4. La démarche de prévention des risques professionnels

La démarche de prévention des risques professionnels dans l'entreprise est un processus en 4 étapes (Figure 2) qui peut être résumé comme suit :

- Réaliser un état des lieux des postes, des situations ou des secteurs à risque de l'entreprise et évaluer les risques (EvRP pour évaluation des risques professionnels, voir section II.2). Les résultats de cette étape sont consignés dans le document unique d'évaluation des risques (DUER), obligatoire depuis 2001⁵, et considéré comme instrument de formalisation de la politique de prévention des risques professionnels (19). Selon l'article R. 4121-2⁶ du Code du travail, le DUER doit être actualisé au moins chaque année, et lors de toute décision d'aménagement modifiant les conditions de travail, d'hygiène ou de sécurité des salariés. Dans chaque entreprise, une ou plusieurs personnes compétentes doivent être désignées pour s'occuper de ces activités de prévention. A défaut, des IPRP du service de prévention de la santé au travail peuvent être sollicités pour assurer ces activités.
- Elaborer un plan d'actions de prévention selon les résultats de l'évaluation des risques, afin de supprimer ou, à défaut, réduire les risques identifiés. Il s'agit tout d'abord de classer les situations par ordre de priorité en fonction de l'importance du risque et du nombre des salariés exposés, puis de définir les actions à mener pour y remédier. Ces actions sont définies en application des principes généraux de prévention des risques définis par l'article L. 4121-2 du Code de travail (Cf. annexe 1). Depuis 2021, la loi du 12 août 2021 introduit l'obligation de la formalisation du plan d'actions dans le DUER.
- Appliquer les actions de prévention élaborées dans le plan de l'étape 2. Il s'agit de hiérarchiser ces actions en fonction de l'importance des risques évalués et des moyens mobilisables par l'entreprise et d'appliquer, à court terme, celles qui sont simples ou temporaires, le temps de mettre en place les ressources techniques, organisationnelles ou financières nécessaires pour l'application des actions plus complexes.

⁵ Décret européen en 1989, transcription de l'évaluation des risques en 1991, document unique en 2001

⁶ Article R4121-2 : La mise à jour du document unique d'évaluation des risques est réalisée : 1° Au moins chaque année ; 2° Lors de toute décision d'aménagement important modifiant les conditions de santé et de sécurité ou les conditions de travail, au sens de l'article L. 4612-8 ; 3° Lorsqu'une information supplémentaire intéressant l'évaluation d'un risque dans une unité de travail est recueillie.

- Evaluer l'efficacité des actions appliquées : cette étape est possible en réévaluant les risques sur lesquels portent ces actions et en comparant les résultats des deux évaluations. Ceci permet de prendre des mesures complémentaires nécessaires pour s'assurer de la bonne efficacité des actions de prévention.

Enfin, pour garantir le succès de la démarche de prévention, celle-ci doit être inscrite dans un processus d'amélioration continue, en fonction de l'évolution de l'entreprise : changements organisationnels, évolution des situations de travail, acquisition de nouveaux équipements, etc. Ce suivi permet de vérifier régulièrement la pertinence des actions de prévention engagées, et de proposer, si besoin, des solutions pour les corriger.

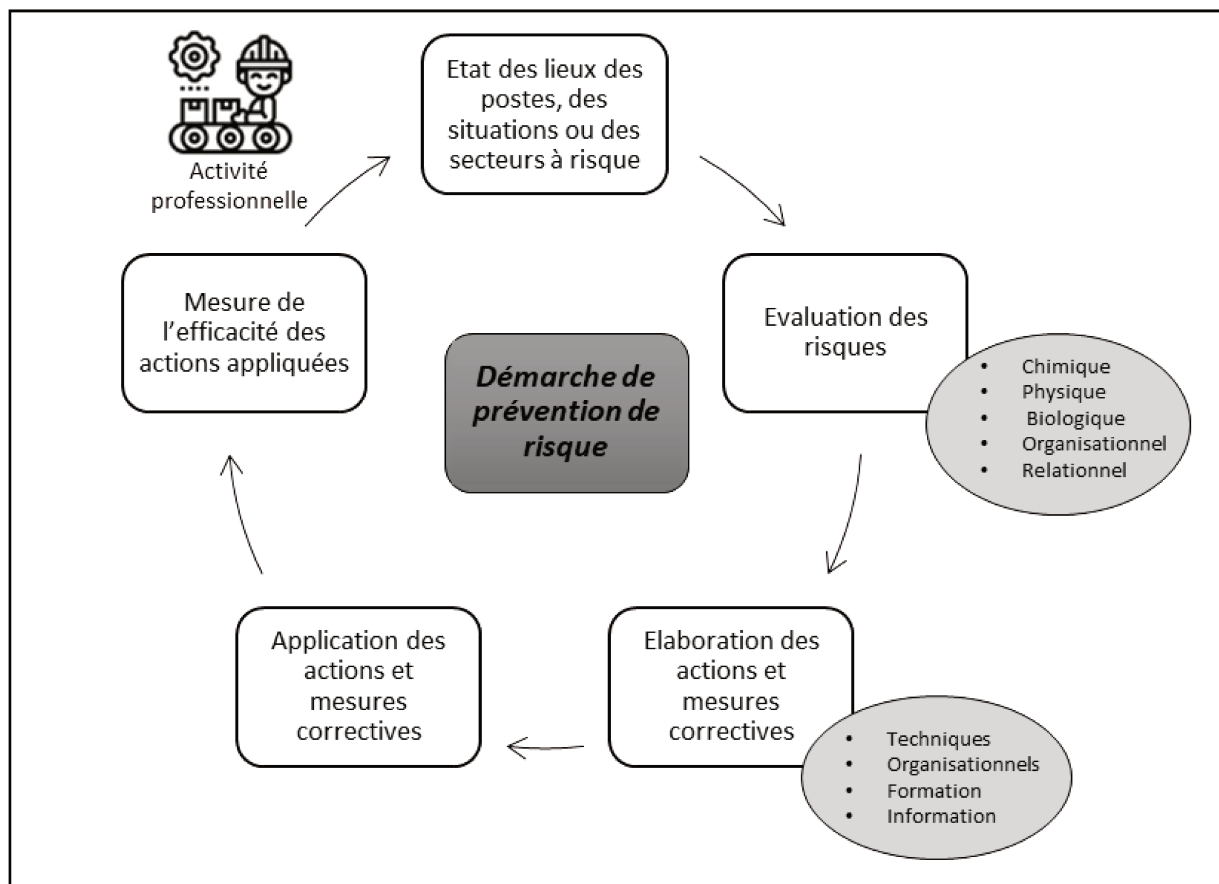


FIGURE 2. PROCESSUS DE LA DEMARCHE DE PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

I.5. Les moyens et leviers mis en place

Pour la plupart issus de la loi du 6 décembre 1976, il s'agit de moyens techniques, organisationnels, de formation et d'information, ainsi que de leviers d'incitation financière.

I.5.1. Les moyens techniques

L'adaptation des postes de travail, des méthodes de travail au quotidien et des équipements fait partie des moyens de prévention contre les risques dans l'entreprise. Elle concerne l'aménagement des locaux et postes de travail avec le mobilier et les équipements nécessaires à l'exercice de l'activité, l'installation et l'utilisation des moyens de protection collective et individuelle, la gestion des produits et des déchets, la maintenance régulière des locaux et des équipements de travail.

I.5.2. Les moyens organisationnels

Dans un premier temps, l'employeur est dans l'obligation d'assurer que l'organisation de l'entreprise est adaptée et permet d'éviter tous risques professionnels (exemple : temps de travail adapté à la nature de l'activité, fourniture de vêtements de travail et équipements de protection, etc.). Dans un deuxième temps, il est tenu de mettre en place des méthodes de gestion des risques adaptées au secteur de l'entreprise, aux métiers exercés et à leurs modes de fonctionnement. La direction et les services des ressources humaines (RH) sont les premiers et parfois les seuls chargés de la prévention. Pour les plus grandes entreprises, des fonctions plus spécialisées de l'entreprise comme « Hygiène Sécurité Environnement (HSE) » ou « service de prévention et santé au travail » sont mis en place. La démarche de prévention est donc organisée et suivie par ces services, avec une planification des actions à mener et un suivi régulier des actions mises en place.

I.5.3. La formation et l'information

La formation et l'information à la sécurité au travail constituent une obligation pour l'employeur selon l'article L. 4121.1⁷ du Code de travail. La formation est un moyen essentiel

⁷ Article L. 4121-1 : L'employeur prend les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs. Ces mesures comprennent : 1° Des actions de prévention des risques professionnels, y compris ceux mentionnés à l'article L. 4161-1 ; 2° Des actions d'information et de formation ;

pour faire comprendre le principe de la prévention des risques aux salariés. Il s'agit d'aider chacun à apprendre et acquérir les compétences nécessaires pour être acteur de la prévention dans son établissement. De plus, l'employeur est tenu de diffuser les informations nécessaires aux salariés concernant les risques professionnels auxquels ils sont exposés et les mesures prises pour les prévenir, avec la mise en place des moyens de communication adaptés.

1.5.4. L'incitation financière

L'incitation financière est mise en œuvre par les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail de la branche AT/MP. L'objectif de ce levier de prévention est d'inciter les entreprises à promouvoir la santé et la sécurité au travail. L'incitation financière est considérée comme étant un des éléments essentiels de la motivation des entreprises à améliorer la santé et sécurité au travail. Il existe deux types d'incitation financière : le premier consiste à subventionner des entreprises pour les aider à mettre en place des actions afin de réduire l'exposition de leurs salariés à des risques fréquents et importants. Le deuxième type consiste à appliquer des sanctions (majoration de cotisations) aux entreprises lorsqu'elles ne respectent pas les règles d'hygiène et de sécurité ou n'observent pas les mesures de prévention édictées par leur Caisse.

II. L'évaluation des risques professionnels

La question de la définition du risque est subjective et dépend du contexte dans lequel elle est posée (20). De manière générale, le risque est défini par la combinaison de la possibilité de survenue d'un événement indésirable, la probabilité d'occurrence ainsi que la gravité de cet événement (Figure 3). En milieu professionnel, le risque est le résultat de la probabilité qu'un salarié soit exposé à un danger lors de l'exercice d'une activité sur son lieu de travail ou sur le trajet pour y venir ou en partir.

^{3°} La mise en place d'une organisation et de moyens adaptés. L'employeur veille à l'adaptation de ces mesures pour tenir compte du changement des circonstances et tendre à l'amélioration des situations existantes.

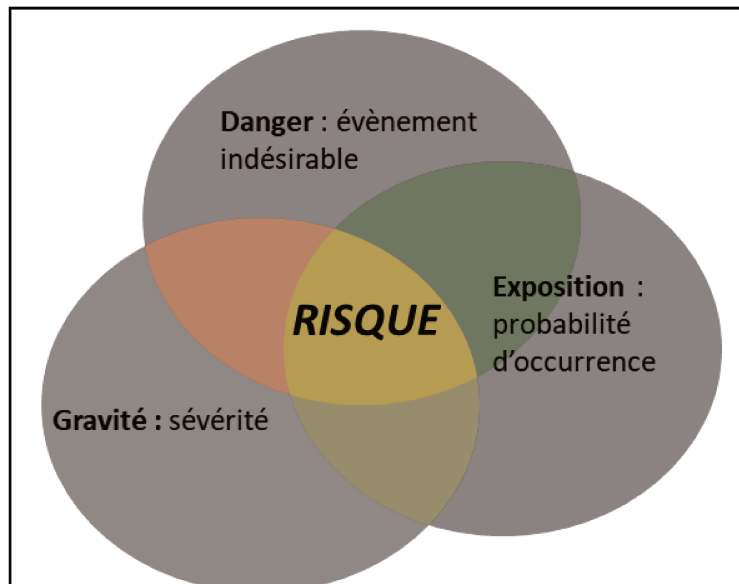


FIGURE 3. PROPOSITION DE DEFINITION DU RISQUE PAR LA COMBINAISON DE LA PROBABILITE DE SURVENUE D'UN EVENEMENT INDESIRABLE AU REGARD DE SA SEVERITE.

II.1. Les méthodes d'analyse des risques

De nombreuses méthodes d'analyse des risques ont été développées historiquement dans différents secteurs de l'industrie (nucléaire, aéronautique, chimique, etc.). Elles traitaient surtout des questions de sûreté de fonctionnement pour la maîtrise des risques. Elles ont été par la suite largement déployées dans de nombreux autres domaines incluant la question des risques sanitaires, tels que l'agroalimentaire (21) ou encore le milieu de soin (22) et le circuit du médicament (23). Ici sont présentées quelques méthodes d'analyse a priori des risques, largement répandues, souvent utilisées de manière complémentaire, et qui sont pour partie à l'origine de la mise en œuvre de la démarche d'évaluation des risques dans le domaine de la santé au travail. Certaines méthodes sont centrées sur le processus (ex. de l'AMDEC) alors que d'autres vont s'intéresser au système dans son ensemble (ex. Ishikawa ou APR) et peuvent conduire à des cartographies (telles que les matrices de risques). Leur logique est basée sur l'analyse séquentielle des différentes étapes des processus et la recherche des causes ou conséquences d'un dysfonctionnement.

A noter que si ces techniques sont très orientées sur les questions d'ingénierie, parallèlement, des approches plus systématiques et interdisciplinaires se sont développées sous le terme de cindynique. Elle a été développée à la fin des années 80 par des opérateurs économiques (24) afin d'identifier les sources de danger dans des organisations complexes et de les corriger via

des moyens de prévention adaptés. Il s'agit d'une démarche d'étude regroupant tous les aspects des sciences qui étudient les risques, incluant également les sciences humaines et sociales (prise en compte des aspects humains et organisationnels).

II.1.1. Identification des causes

La méthode 5M Ishikawa, développée au début des années 60 dans le domaine de la gestion de la qualité, consiste en l'identification des causes possibles d'une défaillance d'un système selon cinq à neuf catégories (25) : un exemple de diagramme à 6 catégories (du matériel aux méthodes, de la main d'œuvre au management) est présenté dans la figure 4. Il s'agit d'une approche basée sur un diagramme qui aide à effectuer une analyse approfondie de la situation en définissant toutes les relations possibles entre un effet et ses causes (26). Dans l'analyse des risques, cette méthode est souvent utilisée en tant que première étape d'identification des causes liées au problème de défaillance.

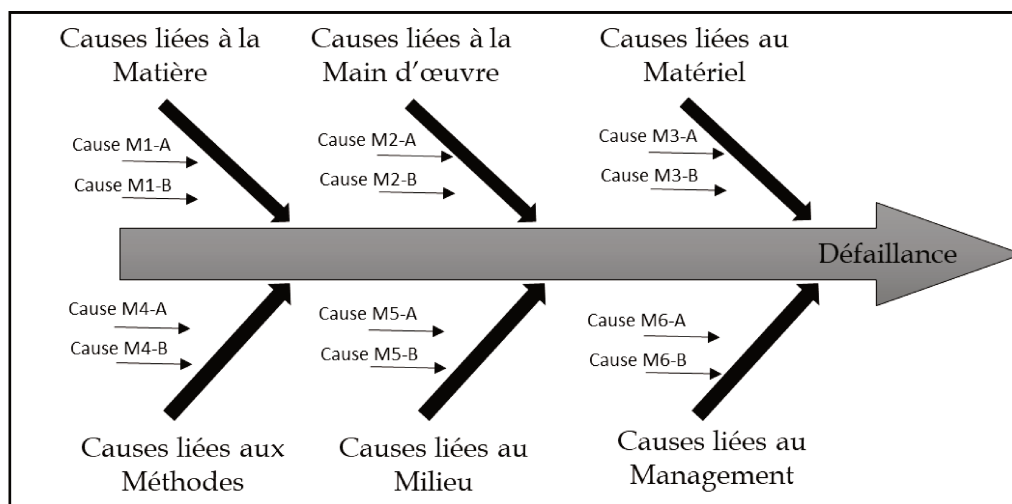


FIGURE 4. EXEMPLE DE DIAGRAMME D'ISHIKAWA A 6 CATEGORIES POUR L'IDENTIFICATION DES CAUSES D'UN EFFET CONSTATE (ADAPTE SELON LA FICHE TECHNIQUE DE L'INGENIEUR (25)).

II.1.2. Analyse de criticité

En complément, d'autres méthodes ont été développées pour analyser les risques de survenue d'un évènement redouté en se basant sur l'analyse de la criticité des processus (introduction d'une hiérarchie). Par exemple, la méthode d'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC), élaborée aux Etats Unis dans les années 1940 (27) est un outil qui analyse les modes de défaillances des composants d'un système et procède en calculant un critère de criticité selon trois facteurs : la fréquence d'occurrence, la

probabilité de non-détection et la gravité engendrée par la défaillance (28). En outre, l'Analyse Préliminaire de Risque (APR) a été développée au début des années 60 dans le domaine aéronautique et militaire. La particularité de cette méthode est qu'elle peut être utilisée en amont afin d'anticiper les faiblesses en sûreté de fonctionnement et les limites des performances d'un système étudié (29,30). Plus tardivement, l'HAZOP (l'Hazard and operability studies), développée au début des années 70 au Royaume-Uni (31), suit une procédure assez similaire à l'AMDEC, sauf qu'elle se focalise plutôt sur l'installation elle-même pour mettre en évidence les dérives potentielles des paramètres liés à son exploitation. Enfin, la méthode d'analyse des dysfonctionnements dans les systèmes MADS-MOSAR a été conçue en France il y a plus de 20 ans (32) et est basée sur l'étude du mécanisme des dangers liés à un système en mettant en relation 3 facteurs : le champ, la source et la cible du danger (figure5) (33). Le modèle MADS-MOSAR est utilisé pour l'analyse de différents types de risques : industriels, opérationnels, urbains, environnementaux, psychosociaux, etc.

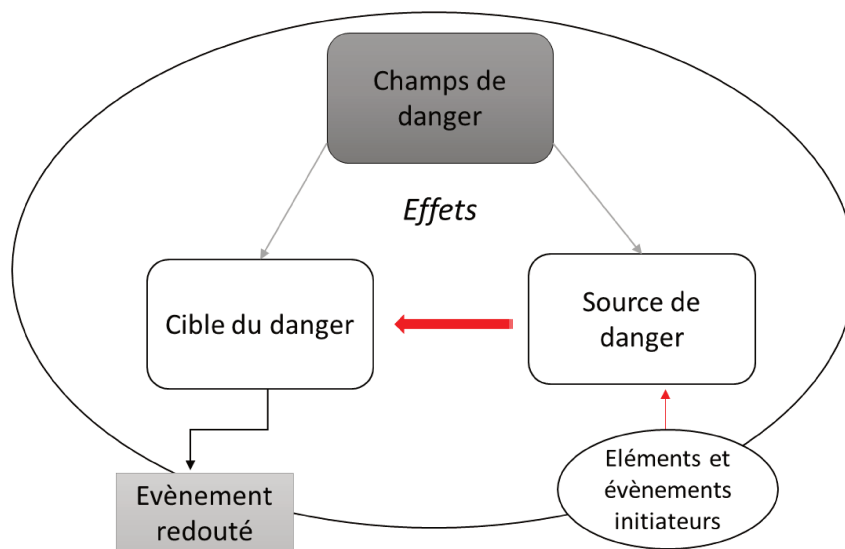


FIGURE 5. APPROCHE DE BASE DE LA METHODE MADS-MOSAR (ADAPTE SELON PERILHON 2007 (34))

II.1.3. Matrice de risque

La matrice de risque (35) est un modèle américain qui s'est généralisé dans de nombreux domaines de la gestion appliquée des risques, notamment la gestion des risques d'entreprise vers la fin des années 90 (36). La matrice de risque se présente sous forme de grille et permet de classer et de hiérarchiser les risques selon deux facteurs essentiels qui sont la probabilité d'occurrence d'un évènement indésirable et ses conséquences (gravité) (37) (38). Un exemple simplifié de la matrice de risque est illustré dans la figure 6.

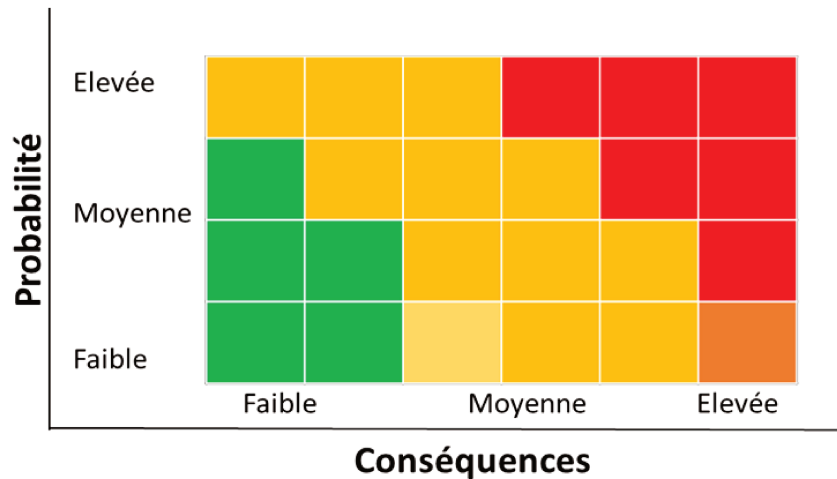


FIGURE 6. EXEMPLE SIMPLIFIE DE LA MATRICE DE RISQUE EN DEUX DIMENSIONS

II.2. Focus sur l'évaluation des risques chimiques

II.2.1 Les approches existantes

Dans le contexte réglementaire décrit préalablement, l'évaluation du risque chimique consiste à repérer les produits présents sur le lieu de travail et identifier leurs dangers, qui sont liées à leurs caractéristiques physico-chimiques (volatilité, état physique, granulométrie...) et leur toxicité. Ensuite, l'analyse des conditions d'utilisation permet de compléter les informations en vue d'approcher le concept de probabilité d'occurrence par estimation des expositions. Après la description des risques, la finalité est de hiérarchiser les situations de travail en fonction de ces risques, et de déterminer un plan d'actions pour les prévenir. En évaluation des risques chimiques, on distingue souvent les approches quantitatives de celles plutôt qualitatives.

Généralement, toutes les approches d'évaluation des risques suivent un schéma similaire, mais ce sont les données d'entrée qui diffèrent. Ce schéma repose sur cinq grandes étapes :

- 1) La phase de contextualisation : c'est l'étape de description de la situation étudiée, et de la formulation de l'hypothèse ou de la question nécessitant une réponse.
- 2) La phase d'identification des dangers : il s'agit de la description des sources potentielles de dommages, dans le cadre du risque chimique, il s'agit donc d'identifier les produits chimiques et de caractériser leur toxicité.
- 3) Caractérisation de la relation dose réponse : Cette étape consiste en la production d'une valeur toxicologique de référence qui fait le lien entre l'incidence d'un effet néfaste et la dose reçue.

- 4) L'identification, l'estimation ou la mesure de l'exposition : cette étape permet d'identifier les populations exposées (qui et combien ?). Les expositions peuvent ensuite être caractérisées à partir de paramètres définissant l'usage des produits (fréquence, durée, quantité). Les niveaux d'exposition peuvent être estimés à partir de scénarios d'exposition, ou peuvent être directement mesurés
- 5) La caractérisation du risque : il s'agit de la combinaison des informations provenant de la caractérisation du danger et des expositions afin de tirer une conclusion sur la nature et/ou le niveau de risque.

En milieu professionnel, plusieurs approches d'évaluation des risques chimiques peuvent être déployées. L'approche quantitative s'inspire de la démarche du National Research Council (NRC) publiée en 1983 dans le domaine de l'environnement (39) et repose sur une architecture bien définie (figure 7) pour aider à la décision. Elle est basée sur la production d'indicateurs chiffrés pour le danger (toxicité et valeur toxicologique de référence) et pour les expositions (estimation ou mesure d'une dose journalière d'exposition) (40,41). Cette démarche s'est popularisée dans le domaine de l'environnement et est aujourd'hui utilisée dans les expertises nationales, comme celles fournies par l'Anses (42).

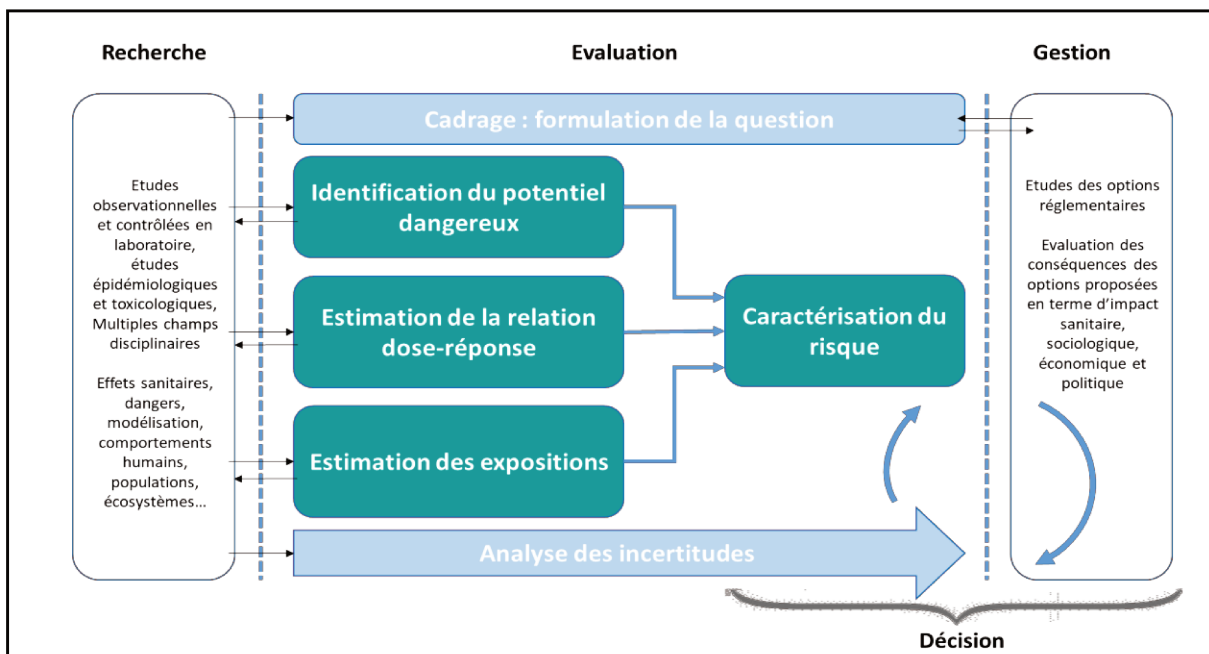


FIGURE 7. DEMARCHE D'EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES ADAPTEE SELON LE NRC 1983 (D'APRES BONVALLOT ET AL. 2021).

En revanche, l'approche qui est le plus souvent utilisée dans l'entreprise est une déclinaison simplifiée de cette démarche d'évaluation quantitative des risques. On parle le plus souvent d'évaluation qualitative ou semi-quantitative des risques chimiques car les données de danger et d'exposition ne sont pas forcément chiffrées : ce sont généralement les fiches de données de sécurité (FDS) qui servent de base pour l'identification des dangers, les relations dose-réponse ne sont pas estimées, et les expositions sont le plus souvent qualifiées à partir de paramètres plus simples définissant le procédé et l'usage des produits, par exemple la fréquence ou la durée d'utilisation, la quantité de produit utilisé (43). Les voies d'exposition considérées sont les voies respiratoire et cutanée, qui sont les principales voies d'exposition en milieu de travail lorsque les règles d'hygiène sont respectées (44).

L'approche repose généralement sur une matrice de risque (voir section II.1). En santé travail, le terme anglophone largement utilisé est la méthode du « control banding » ou « gestion graduée des risques chimiques » en français (45,46). Développée à la fin des années 80 dans l'industrie pharmaceutique (47) pour évaluer les risques dans des situations où les produits utilisés ne disposaient que de peu d'information, le principe repose sur l'attribution de « bandes » aux différents déterminants du risque (danger et exposition) (48) et la combinaison de ces bandes pour déterminer un score qui lui-même peut prendre la forme d'une bande à laquelle on peut faire correspondre une couleur (voir la figure 6). Le résultat permet d'établir des priorités utiles pour mettre en œuvre des plans d'action de prévention.

II.2.2. Les outils mis en place pour aider les entreprises

Différents outils d'évaluation des risques chimiques sont actuellement disponibles pour aider les entreprises à conduire leur évaluation des risques chimiques, en utilisant des paramètres plus ou moins simples et plus ou moins facilement accessibles. Ils sont brièvement décrits ici.

L'outil Britannique COSHH Essentials (49,50) a été développé à la fin des années 90 par le UK Health and Safety Executive. Il utilise la méthode dite du control banding pour évaluer le risque lié à un produit. Dans cette méthode, le danger est défini par les mentions de danger

issues de la classification CLP⁸ figurant sur les étiquettes des produits ou dans les FDS, et l'exposition est caractérisée à partir des propriétés physico-chimiques du produits (volatilité pour les liquides ou pulvérulence pour les poudres) et de ses conditions de mise en œuvre (quantités manipulées principalement). Les bandes de dangers et d'exposition sont ensuite associées dans une matrice pour caractériser un niveau de risque. Cette approche a été adaptée par l'organisation internationale du travail (International Labor Organization (ILO)) via l'outil chemical control toolkit (51) (les mentions de dangers du CLP sont remplacées par celles du Système Général Harmonisé (SGH)) (52).

A l'échelle européenne, l'outil TRA (Target Risk assessment TRA) a été développé en 2004 par le Centre européen d'écotoxicologie et toxicologie des substances chimiques (ECETOC) (53). L'exposition est estimée sous forme d'intervalle de concentrations en prenant en compte trois types de déterminants : la tendance des substances à se retrouver dans l'air (pulvérulence pour les solides et volatilité pour les liquides), les conditions d'utilisation (procédé, fréquence, etc.) et les mesures de protection mises en place. Le modèle a été amélioré en 2009 avec l'ajout de nouveaux déterminants de l'exposition : précision du type de procédé via le référentiel des procédés REACH, intégration des équipements de protection respiratoire et du niveau d'efficacité des équipements de protection collective, et utilisation de la concentration de la substance utilisée (54). La détermination du niveau de risque est alors faite en comparant les expositions estimées à des valeurs référence.

Stoffenmanager (55,56) a été développé par l'Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique appliquée (TNO). Il est également basé sur la méthode du control banding pour évaluer le risque chimique (57). Cet outil existe aussi sous forme d'un modèle prédictif de l'exposition (58) qui prend en compte plusieurs déterminants : le procédé, les propriétés physico-chimiques de la substance, la distance source-travailleur, le taux d'émission des sources à proximité et à distance des travailleurs, la présence ou non de systèmes de

⁸ Le règlement CLP « Classification, Labelling, Packaging » est la dénomination du règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges. Il applique les règles du Système Général Harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH) élaboré au niveau international. Les mentions de danger H définissent la nature du danger en 28 classes: 16 classes de danger physique (explosible, inflammable, etc.), 10 classes de danger pour la santé (toxicité aiguë, cancérogénicité, toxicité pour la reproduction, etc.) et une classe de danger pour l'environnement (toxicité sur le milieu aquatique). Les mentions de danger EUH sont des informations additionnelles sur le danger qui sont attribuées à des substances ou mélanges présentant des propriétés physiques ou de danger spécifiques. Ces mentions ne sont utilisées qu'au sein de l'Union Européenne.

protection collective (ventilation générale et captage à la source), et la présence ou non d'équipements de protection respiratoire.

En France, l'INRS en collaboration avec le centre national de prévention et de protection (CNPP), a développé en 2005 une méthodologie simplifiée pour la hiérarchisation du risque chimique figurant dans un document référencé ND 2233 (59). Tout comme COSSH Essential ou Stoffenmanager, l'approche utilisée dans cette méthodologie est le control banding. La particularité de cette méthode est liée au fait que l'évaluation se base sur l'exposition aux produits et non aux substances. Le danger est évalué en fonction des mentions de danger H et EUH du produit utilisé et l'exposition est caractérisée selon des déterminants simplifiés : le procédé, la fréquence d'utilisation, la quantité, la durée et les moyens de protection collective. Cette méthodologie d'évaluation des risques a profité d'une dizaine d'année d'utilisation et de retours d'expérience avant d'être mise à jour et concrétisée en 2015 en un outil informatique : le logiciel Seirich. Il est décrit de manière plus approfondie dans la section suivante.

II.2.3. Le logiciel Seirich

Déployé en juin 2015, le logiciel Seirich (Système d'évaluation et d'information sur le risque chimique en milieu professionnel) a été conçu et soutenu par l'INRS et ses partenaires : le ministère du travail, le réseau prévention de l'assurance maladie et des organisations professionnelles (France Chimie, UIMM, Mobilians et Sipev). Il a été conçu en se basant sur l'expertise et le retour d'expérience des dix ans d'utilisation de la méthode de hiérarchisation des risques chimiques publiée dans la ND 2233. L'objectif du logiciel est d'aider les entreprises à évaluer les risques chimiques pour la santé, pour l'environnement, et liés à l'incendie/explosion, de les informer sur leurs obligations réglementaires et les bonnes pratiques en matière de prévention des risques chimiques et de les aider à mettre en place un plan d'actions de prévention.

La démarche développée dans ce cadre repose sur la réalisation d'un inventaire des produits étiquetés et des agents chimiques émis par les procédés présents dans l'entreprise. Ensuite, l'évaluation des risques des produits est réalisée, en prenant en compte leurs dangers définis par les mentions H et EUH figurant dans les FDS, certaines de leurs propriétés physico-chimiques (pulvérencence pour les solides et volatilité pour les liquides), leurs conditions de

mise en œuvre ainsi que les moyens de prévention et de protection utilisés. Le niveau de risque est déterminé en combinant des bandes de danger et celles d'exposition. Chacune de ces bandes sont associées à un score équivalent à une valeur entière, et dont la multiplication (danger × exposition) donne un score de risque. Ce score de risque est lui-même associé à une bande de risque colorée : rouge pour "risque très élevé", orange pour "risque élevé" et vert pour "risque modéré". Les niveaux de risque sont donnés pour toutes les situations de travail, c'est-à-dire l'utilisation d'un produit chimique ou l'émission chimique industrielle liée à une tâche spécifique, effectuées dans une entreprise. Enfin, ces situations de travail sont triées en fonction de leur bande de risque final. Le projet Seirich est piloté par un comité composé des partenaires de l'INRS susmentionnés. Le nombre d'entreprises utilisatrices de Seirich est évalué à 30 000 en 2022 (donnée non publiée, issue de la plateforme interne d'administration du logiciel).

L'article suivant, soumis dans la revue « International Journal of Environmental Research and Public Health » en Novembre 2022 présente la méthodologie d'évaluation des risques utilisée dans le logiciel Seirich, est organisé comme suit :

Introduction

La méthode du control banding

Étape 1 : Attribution de la classe de danger et du score

Étape 2 : Attribution de la classe d'exposition et du score

Étape 3 : Calcul du score de risque et attribution de la bande de risque

Exemple d'application pour un lieu de travail : pose d'une isolation thermique Discussion

Conclusion



A control banding method for chemical risk assessment in occupational settings in France

Abir AACHIMI ^{1-3,*}, Florian MARC ², Nathalie BONVALLOT³ and Frederic CLERC¹

¹ Department of pollutant metrology, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 1 rue du Morvan, Vandœuvre-lès Nancy 54500, France

² Department of expertise and Technical consulting, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 65 Boulevard Richard-Lenoir, 75011 Paris, France

³ Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail) -UMR_S 1085, F-35000 Rennes, France

*Correspondence: abiraachimi57@gmail.com ; Frederic.clerc@inrs.fr

Abstract: (1) Background : This paper describes a chemical risk assessment method whose aim is to help companies to assess chemical risks. (2) Methods: The method relies on a control-banding scheme for chemical risk assessment. The level of risk is determined by combining so-called “bands” of health hazards and exposure. The bands are associated to a score, an integer value, whose multiplication provide a risk score. The risk score itself is associated with a colored risk band : red for “very high risk”, orange for “high risk” and green for “moderate risk”. The risks bands are computed for all work situations performed in a company, a work situation is a combination of a chemical product or an industrial chemical emission related to a task. The work situations can be sorted according to their risk band, both for inhalation and cutaneous risk. (3) Results: An example of use of this method is described in a French façade insulation company. (4) Conclusions: A tool named Seirich was developed to implement this method and promote high standards in chemical risk assessments in France.

Keywords: occupational health, chemical risk assessment, control banding method

1. Introduction

Occupational health and safety consists of identifying, assessing, prioritizing and reducing health risks related to exposure to workplace hazards, to ensure the safety of employees. In the specific case of chemical risk assessment, the combination of hazard and exposure data available at the workplace is used. The most accurate way to assess a risk is firstly to identify all chemical products found at the workplace and estimate their potential adverse effects with dose-response relationships, and secondly to measure workers' personal exposure through biomonitoring or atmospheric sampling according to Landberg et al. (2018). Nevertheless, due to the lack of readily available information and resources, the time and money required to conduct exposure measurements and the many uncertainties associated with the characterization of the products' potential hazards, chemical risk assessment using toxicity data and exposure measurements is not always efficient. The "Control Banding" method can be used as an alternative solution, as it uses simplified and more accessible parameters.

Control Banding is a qualitative method to assess and manage workplace risks. It consists of matching the “class” for health hazards, exposure potential, and risk mitigation measures. The result of this matching is the generation of a “risk band” that represents the level of risk, which helps the hygienist prioritize and determine prevention action plans as described in Zalk et al. (2008; 2011). According to Naumann et al. (1996), this method was first developed in the 1980s within the pharmaceutical industry to ensure the

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname Last-name

Received: date

Accepted: date

Published: date

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

safety of workers regarding the use of products for which little information was available. To make this method user-friendly and accessible to all companies, and to determine an appropriate control strategy for occupational risks, several tools were then developed. As an example, thirty years ago, the UK Health and Safety Executive developed “COSHH Essentials” described in Brook et al. (1998) and Garrod et al. (2007) and in the Health and Safety Executive (1998) guidance, which is a control-banding tool that determines, through advice and guidance, a control approach to monitor substances that may affect workers' health. More recently, in 2008, in the context of a Dutch program to reinforce the working conditions policy on hazardous substances, the web-based tool “Stoffenmanager”, described in Cherrie et al. (1996) and Marquart et al. (2008), was developed to identify chemical hazards and control exposure in the workplace. Stoffenmanager uses the same hazard allocation scheme as COSHH. It consists of allocating substances to particular hazard groups based on their toxicological classification and labeling under the CLP regulation, as mentioned by Garrod et al. (2007). On the other hand, Stoffenmanager uses an exposure-banding scheme based on a modified version of an exposure model, consisting of subjective exposure assessments using a structured approach based on descriptive information about work activities and the work environment, described by Cherrie and Schneider (1999). At the same time (2010), “EMKG” (Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe), using a similar scheme to COSHH Essentials, was developed by the German Federal Institute for Occupational Safety and Health (Guidelines on the EMKG, available from: <https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Hazardous-substances/EMKG/EMKG-guidelines.html>). As with the other tools, EMKG offers a simple approach to evaluate occupational risks and identify management measures requiring only a minimal number of input parameters. In 2005, the French National Research and Safety Institute for occupational risk prevention (INRS, www.inrs.fr), in collaboration with the National Prevention and Protection Centre (CNPP), developed a simplified control banding method described by Vincent et al. (2005). Its objectives are to help companies assess chemical risks; to set up prevention action plans. It concerns the health risk assessment due to inhalation and dermal exposure routes. The method had the added advantage that it was intended to be used by anyone with minimal knowledge in chemical risks, using simple and easily accessible parameters. This method evaluates the chemical risks resulting from the potential hazard and exposure to the products used during a task. The output is a relative prioritization of products used during a task, for each task performed in the company. In other words, it consists of a sorted list of all products and the way they are used in the company, concerning their chemical risk level. Concretely, a hazard class and hazard score are assigned to each product used according to its regulatory classification. Then, an exposure class and score are assigned, based on sub-scores for each descriptive parameter influencing exposure (process, protective equipment, etc.). Finally, the risk band and its corresponding score are the outcome of the multiplication of the hazard score and the exposure score (figure 1).

Since 2005, the users of the method pointed out some possible improvements. Moreover, in 2008, the EU CLP regulation was introduced: the “H” hazard statements now support the hazard characterization instead of the “R-phrases”, which were used by the method.

In the first part of this paper, an update of the control banding method mostly used by French companies is described. This update takes into account the improvements proposals and makes the method easier to use and compliant with the CLP regulation. The new method has three different levels of use, making it accessible whatever the level of expertise of the user. In the second part of this paper, a case study in a French insulation and house facade repair company is presented. The workstation chosen for the assessment was the “installation of thermal insulation” which includes numerous tasks conducted with different products used or emitted.

2. Materials and Methods

The proposed control banding method consists of three main steps: (I) assignment of the hazard class and score; (II) assignment of the exposure class and score; and (III) calculation of the risk score and assignment of the risk band. This risk assessment method has to be followed by the set up of a prevention action plan to eliminate or reduce the risks threatening the health and safety of employees.

Step 1: Assignment of the hazard class and score

In a preliminary task, a map of working areas, workstations, and tasks performed at the company must be prepared. Then, the chemical hazards for each task can be inventoried. For each product, the hazard may be related to a labeled product covered by the European labeling regulation (CLP) (i.e., paints, inks, solvents), a product not covered by the CLP labeling (i.e., flour, sugar, cosmetic products, etc.) or industrial chemical emissions during a particular process without a precise description of products (i.e., wood sanding dust or welding fumes). The hazard is expressed as a hazard class and its corresponding score is expressed as an integer. The hazard class is attributed differently depending on the nature of the chemical:

- for the labeled products covered by CLP labeling, the hazard class is determined through the H and EUH statements available in the SDS or on the product label. Each H or EUH statement is associated with a hazard score according to gravity and potential for immediacy of effect mentioned by the statement. If a product has several hazard statements, the most severe is considered. An overview of the hazard classification for inhalation route is presented in Table 1. The same principle is used for dermal exposure (data not shown).
- for the chemical products not covered by CLP labeling, and the industrial chemical emissions, the hazard is defined by consensus of a group of experts in the field of chemical risk prevention. The substances emitted, their toxicity and reactivity, as well as the generation are considered to determine these hazard classes.

In both cases, the assignment of hazard classes process was conducted over months by a group of +20 experts in the field of chemical risk prevention. The results are directly inspired by those from (Health and Safety Executive (HSE), 2008; HSE, 1999), and in the end very similar to those proposed by (Arnone et al., 2015).

Step 2: Assignment of the exposure class and score

For the inhalation route, five parameters are needed to evaluate the exposure score (figure 2). The different modalities of these parameters and their relative classification are listed in table 2.

- The physical state can be “liquid”, “solid” or “gas”. It is used to describe the potential of the substance to become airborne. When it is a liquid, this potential is defined by the vapor pressure, and in this case, the temperature of use and the boiling temperature can be used (EUSES - European Union System for the Evaluation of Substances, available from: (<https://echa.europa.eu/fr/support/dossier-submission-tools/euses>)). When it is a solid, including powders, the potential is related to the dustiness: the finer the powder, the higher the potential. When it is a gas, the potential is always at maximum level because gases are considered to generate maximum exposure.

- The type of process is used to define the level of dispersion of the product in the workplace. It can be defined by using the REACH process reference framework (PROC) defined in the European Chemicals Agency (2015) guidance or by using the four modalities defined in the Technical Guidance Document on Risk Assessment (2003).

- Collective protective equipment concerns the installation of ventilation controls and local exhaust ventilation, which contributes to the protection of employees' health. These measures help to reduce the levels of exposure to chemicals for employees.

- The daily amount corresponds to the amount of product used during a specific task over a day (about 8 hours) or during a work sequence. The daily amount is only used with dispersive processes; it defines the amount of product dispersed voluntarily in the work atmosphere.

- The duration of the task performed by the employee is considered when the most severe hazard occurs after repeated exposure over time (chronic exposure: i.e., carcinogenic products). On the contrary, the duration of exposure is not considered when the most severe hazard occurs after an acute exposure (i.e., highly toxic products that can cause immediate irreversible effects).

For the dermal route, which includes both skin and eyes, four parameters are needed to assess the exposure (figure 3). The different modalities of these parameters and their relative classification are listed in table 3.

- The exposure scenario corresponds to the nature of the operations performed by the employee. There are four modalities for the exposure scenario describing a part of the exposure level.

- The exposed surface corresponds to the total surface area of skin that can be exposed to the product without considering personal protective equipment.

- The daily amount is taken into account in the same way as for the inhalation route. This parameter is considered when the effects appear because of exposure through skin penetration (systemic effects). It is not used when the product produces local effects.

- The duration is considered in the same way, with the same modalities, as for the inhalation route.

An integer value is allocated to each of above entry parameter modality, and the exposure score is the multiplication of these integer values.

Step 3: Calculation of the risk score and assignment of the risk band

The risk score is calculated by multiplying the hazard score and the exposure score: one for inhalation route and another for dermal route. The value attributed to the hazard score have the most important weight compared to exposure score. Then, the inhalation route risk band and the dermal route risk band are assigned with regards to their respective risk score. Three risk bands are defined: "moderate risk" (green color), "high risk" (orange color) and "very high risk" (red color). The risk bands are calculated for each work situation defined as a combination of chemical (labelled product or industrial chemical emission) and task in the company. Then, the work situations are sorted according to their respective risk band, they can be prioritized.

3. Results. Example of application for a workplace: installation of thermal insulation 181 182

In 2019, a visit to a company specialized in the insulation and repair of house facades was conducted. The company was identified following a request made by a hygienist from the French public health insurance service, explaining that the director of this company wanted to evaluate and establish an action plan to reduce the potential chemical risks within his company. The aim of the visit was to contact the director, to understand his needs, to explain the usefulness of the method and its usage. To do this and to facilitate the task, the authors suggested carrying out an assessment of one of the company's workstations, from the inventory to the action plan, according to the three steps defined above. 183
184
185
186
187
188
189
190
191

Step 1: Assignment of the hazard class and score 192

Different workstations using chemical products were identified in the company: scaffolding, installation of thermal insulation, repair, and renovation of facades, painting, and coating. The workstation chosen for the assessment was the "installation of thermal insulation" due to the numerous tasks conducted with different products used or emitted. Information concerning the tasks and the products were collected during the company visit. Table 4 represents the eight tasks performed with the inventory of labeled products and industrial chemical emissions. 193
194
195
196
197
198
199

Step 2: Assignment of exposure class and score 200

The details regarding the determination calculation in terms of the risk level via both inhalation and dermal routes are shown in table 5 for all labeled products used in the workstation. For industrial chemical emissions, the determination details are shown in table 6. 201
202
203
204

Step 3: Calculation of the risk score and assignment of the risk band 205

Figure 4 represents the sorted list of products used during each task, according to their respective inhalation and dermal risk band. 206
207

Regarding the inhalation risks illustrated in this example, the four products used during tasks with "very high inhalation risk" are: (1) the expanding foam used to fill fractional gaps, (2) the surface hardener and (3) the bonding resin used for the facade coating, (4) the primer used as a fixative between the lattice and the plaster. Moreover, two industrial chemical emissions also show "very high inhalation risk": the dust emitted (1) during the surface preparation and installation of the starting rails, and (2) during the treatment of protruding angles. The next seven products and the plastic combustion fumes released during the cutting of polystyrene insulation boards have a high risk, shown in orange in figure 4. Regarding dermal risks illustrated in this example, the six products used during tasks with "very high risk" are: (1&4) the facade coat, (2) the surface hardener, and (3) the bonding resin, all used for the facade coating and the finishing; (5) the hydrochloric acid used for the finishing task; (6) the expanding foam used to fill the fractional gaps. Moreover, one industrial chemical emission also show "very high dermal risk": the dust released during the treatment of protruding angles. 208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221

The aim of prioritizing risks at a company is to guide the development and the follow-up of a preventive or corrective action plan helpful to reduce occupational risks for the most problematic situations. Therefore, to help the company to determine the appro- 222
223
224

appropriate actions to reduce and eliminate the most important risks in the workplace, an occupational hygienist from the French public health insurance service was asked to review the results. A precise action plan was established. In particular, the substitution of the expanding foam, the surface hardener, the bonding resin, and was required because their use leads to a very high risk for inhalation and dermal routes. The dust emitted during the surface preparation and the treatment of protruding angles presented a very high inhalation risk. Since these tasks are performed outdoors, the use of collective protective equipment is not applicable. For this reason, the use of personal respiratory protective equipment is highly recommended to avoid the risks related to this task. In addition, in view of the very high level of risk via dermal route for the treatment of protruding angles, the use of dermal protective equipment (goggles and gloves) is recommended during the treatment of protruding angles.

4. Discussion

The method can be used to assess the chemical risk of products through inhalation and dermal route. In contrast to the others exposure/risk assessment methods and tools whose scope of application are limited, this method's domain of applicability extends to almost all types of products with the exception of nanoparticles and non-specific powders. As example, According to European Chemicals Agency 2016 guidance, EMKG and Stoffenmanager cannot be used for gases and fibers. Moreover, the risk can be assessed according to any process in this method, while tools like Stoffenmanager cannot be used for fume generating processes, calendaring processes and some closed processes.

To evaluate the hazard, the labeled products are associated with hazard classes based on their H and EUH statements. In addition to the major sources mentioned previously in this article, other tools like Stoffenmanager, EMKG and Ecetoc TRA described in Bögi et al. (2012) use similar schemes. As there is no reference methodology for assigning each hazard statement to a specific band, the assignments made by each tool are different with the use of different rules. The classifications used in the previously mentioned differ concerning the carcinogenic, mutagenic and reprotoxic products (CMR) classification: these hazards are associated with the most severe band for these software. In the proposed methodology, the most severe band refers to lethal acute toxicity. A similarity between these tools is the classification of products capable of causing harm to unborn babies or impacting negatively on fertility, which are classified just after the classification of the most severe hazards. The qualitative identification of hazards includes subjectivity related to the use of expert judgements that are based on training and experience. As for the risks, hazard perceptions depend on many variables, such as personal and socio-demographic aspects, and the professional experience of the evaluators as noted by Skjong et al. (2011). Since different institutions and individuals develop these different tools, this may explain the differences in the hazard ranking tables. Moreover, as control banding is a relative method, the prioritization of the hazard into five classes helps to rank and prioritize products according to their level of dangerousness. But the least severe class in the hazard table does not mean that the hazard represented is not considerable.

To assess the exposure, most models cited above evaluate the concentration of substances contained in the products in the worker's breathing zone. This concentration is compared to Occupational Exposure Limits (OELs) to assess the chemical risk, expressed as "above OEL" or "below OEL". By comparison, in this method, a risk assessment is conducted regarding the use of products and not only the substances. This is considered more convenient to field practitioners since workers are usually exposed to a mixture of substances that constitute the products and not to the substances individually. However, even if this method provides a risk assessment of the products used in the company, it does not replace the regulations related to the monitoring of occupational exposure,

which, in all cases, require employers to carry out exposure measurements for regulated substances that are considered to be of concern and to compare them with occupational exposure limit values.

In this method, the input parameters must be easily accessible. The parameters that are difficult to access, but which are essential for evaluation, are simplified. For example, the air change rate is represented by the type of mitigation system used, and the product volatility, which is defined by the vapor pressure, and can be estimated by using the boiling point and the temperature of use, if the vapor pressure is not available. Moreover, the frequency of use of products is not considered relevant because the aim is to evaluate the risk resulting from the exposure of the worker during the task (at the time he/she performs the work operation) and not at the workplace in general. The number of exposed workers in the workplace is an important parameter in risk management. However, regardless of the number of workers in the area of potential damage, the severity of this damage must be the same: this parameter does not influence the risk assessment. The volume and/or the surface area of the work zone is also not considered because it is not easily accessible to all users.

Even relying on a robust control banding methodology, chemical risk assessment remains difficult. Some specific issues related to particular substances can be improved. Firstly, when the product evaluated does not have an SDS or is not classified according to the CLP regulation for health hazards, the chemical risk given by the method is always at the minimum level. Among these unclassified products, there are powder products with non-specific effects (i.e., calcium carbonate, amorphous silica, alumina, etc.). This type of chemical agent can cause various respiratory system pathologies resulting from pulmonary overload or carcinogenic, allergenic, or irritancy as mentioned in a report by the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety - ANSES (2019). The method underestimates these effects since the products do not have a classification according to the CLP regulation. This methodology limitation was reported during its use and a solution is currently being developed to rectify it. Secondly, endocrine disruptors are difficult to identify and the evaluation of their effects on health is a scientific challenge and an important public health issue as noted by ANSES (available from: <https://www.anses.fr/en/content/ansess-work-and-involvement-area-endocrine-disruptors>) and the ECHA (available from: <https://echa.europa.eu/fr/understanding-ed-assessment>). Despite these uncertainties, a preventive approach should be implemented to limit the workers' exposure to the lowest possible level, particularly pregnant women or women of childbearing age as recognized in the INRS (2021) report. This issue and a solution to address it will be proposed in the future. Thirdly, the quality of the assessment depends on the quality of the information from the SDSs. Meanwhile, SDSs often do not provide complete or accurate information. For example, the physico-chemical properties (vapor pressure) are sometimes missing. More importantly, the product's descriptions of health effects need more improvement within the European Chemicals Agency (EU body or agency) (2019) report. This lack of data in the SDSs mainly concerns powders, especially nanometric ones. These powders are not always well identified in the SDSs and information on their composition or their potential hazards is often not available. This leads to a misjudged risk assessment for this type of product. Hodson et al. (2019) evaluated the reliability and accuracy of a sample of SDS specific to engineered nanomaterials. Their evaluation showed that their information quality is not sufficient to provide adequate data on the inherent health and safety hazards of engineered nanomaterials. Thus, the use of SDSs alone to characterize the products' hazards could be considered as a limitation because even though each user is asked to verify the adequacy and SDS updates, the method is not able to confirm their accuracy and the quality of data provided on the product's effects.

This method is implemented in a software named “Seirich”, which was developed by the INRS in partnership with the French Ministry of Labor, national health insurance, and French professional organizations. In addition to the control banding chemical risk assessment, Seirich software guides users in the development and the follow-up of a preventive or corrective action plan to reduce risks at work. A risk assessment is provided for fire and explosion hazards. The software also offers regulation information and good practices to guide the user in the implementation of preventive actions. It is available free of charge on the web at: <https://www.seirich.fr/> (French and English languages).

5. Conclusion

Since more than 20 years, and particularly since the coming into force of the EU CLP regulation in 2015 (for mixtures), a constant evolution of the presented method has been conducted, with several improved versions implemented in the Seirich software. This involves either considering regulatory updates, introducing ergonomic evolutions or adding new features. Currently, this method is considered to be the reference for occupational chemical risk assessment in France with more than 30,000 users. The INRS is committed to promoting this tool and ensuring its continuous improvement. The aim is to reinforce its status as the reference method for chemical risk assessment in French companies. This tool represents a very important step in the risk prevention process by allowing the identification and evaluation of chemical risks to which employees are exposed in the workplace. This must be followed by the implementation of a specific prevention action plan based on the results obtained, with the aim of eliminating or reducing the identified risks as much as possible. Finally, to allow foreign companies to use it easily, this tool is also available in an English version but is still adapted to French regulations.

Figures, Tables and Schemes

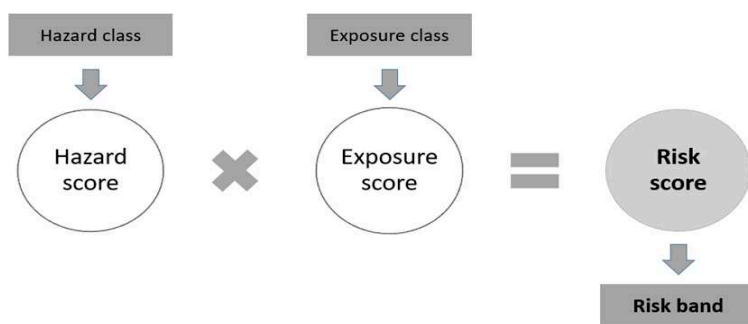


Figure 1. Principles of assessment for chemical risks using the control-banding method

Table 1. Overview of inhalation hazard classification in the method according to gravity and potential for immediacy of effect.

<i>Inhalation hazard statement according to the CLP regulation</i>	<i>Example</i>	<i>Hazard class</i>
No classification	-	Very low
Products with moderate local effects	Irritants	Low

Products with acute or chronic moderate toxicity Products with severe local effects	Cutaneous sensitizers Corrosives	Medium
Products with immediate effects Products with acute or chronic severe toxicity	Acute toxicant Carcinogens	High
Products with lethal effects or immediate severe systemic effects	Respiratory sensitizers	Very high

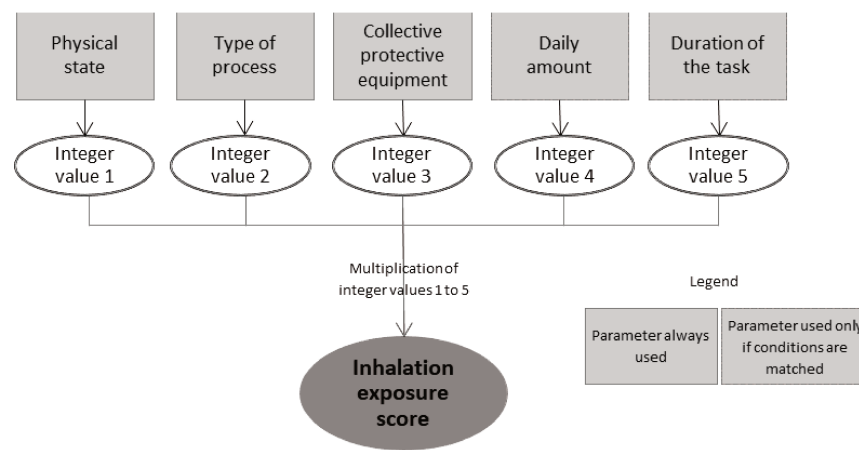


Figure 2. The parameters used and the calculation of the exposure score for inhalation route.

Table 2. The modalities and classes for the inhalation exposure parameters

Parameters	Description		Class
Physical state	Solids	Pellets, chips, and solids with little brittleness	Low
		Powder or grains (e.g., crystallized sugar, etc.)	Medium
		Fine powder, airborne dust generation during handling (e.g., powdered sugar, flour, plaster)	High
	Liquids	Vapor pressure lower than 500 Pa	Low
		Vapor pressure between 500 and 10000 Pa	Medium
		Vapor pressure above 10000 Pa	High
	Gas	Usually in a pressurized bottle	High
Process	Enclosed	Any process that is completely contained	Very low
	Enclosed but regularly opened	Any process which is confined but which can be opened during filling, emptying or control phases	Low
	Open	Any process where the material is localized without specific dispersion and without specific containment	Medium
	Dispersive	Any process, which by the energy deployed or the absence of containment generates emissions into the working atmosphere	High

Collective protective equipment	Indoors	Fume cupboard	Very low
		Other local exhaust ventilation (extractor hood, extraction slit, extraction table, etc.)	Low
		General ventilation	Medium
		No extraction device	High
	Outdoors (natural ventilation)		Medium
Daily amount	< 10 g		Very low
	[10 g - 100 g]		Low
	[100 g - 1 kg]		Medium
	[1 kg -10 kg]		High
	≥ 10 kg		Very high
Duration	< 15 min		Very low
	[15 min - 1 h]		Low
	[1 - 4 h]		Medium
	≥ 4 h		High

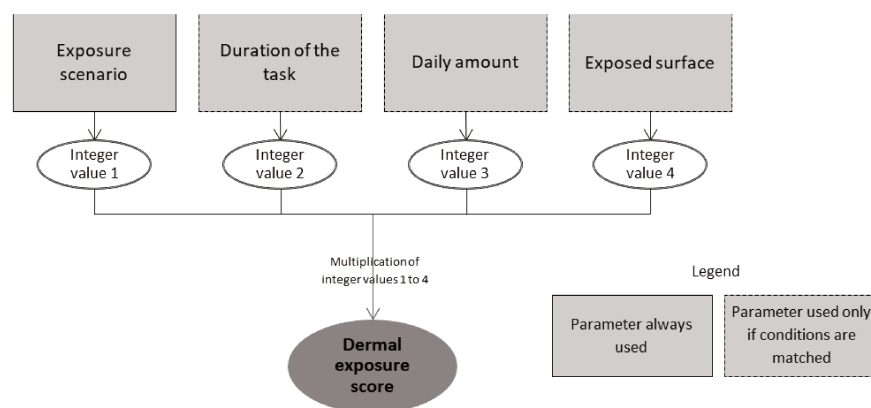


Figure 3. The parameters used and the calculation of the dermal exposure score .

Table 3. The modalities and classes for dermal exposure parameters.

Parameters	Description	Class
Exposure scenario	No possible contact of the product with the body	Very low
	Possible contact of the product with a part of the body (e.g., handling of a cloth soaked with a product or tools contaminated by a product)	Low

	Possible generation of splashes or aerosols (e.g., projection of drops during spill operations, projection of oil mists by rotating machines)	Medium
	Possible immersion of a part of the body in the product (e.g., manual placing or removal of parts in chemical baths, during degreasing, rinsing operations, etc.)	High
Exposed surface	One hand	Very low
	Both hands	Low
	Lower or upper limbs	Medium
	The whole body or face	High
Daily amount	< 10 g	Very low
	[10 g - 100 g[	Low
	[100 g - 1 kg[	Medium
	[1 kg - 10 kg[	High
	≥10 kg	Very high
Duration	<15 min	Very low
	[15 min-1h[	Low
	[1-4 h[	Medium
	≥ 4 h	High



Labelled products

Filling of the fract... - Expanding foam	Facade coating - Facade coat
Facade coating - Surface hardener	Facade coating - Surface hardener
Facade coating - bonding resin	Facade coating - bonding resin
Adding fixative betw... - Primer	Finishing and cleani... - Facade coat
Facade coating - Facade coat	Removal of residues - Hydrochloric acid 33%
Finishing and cleani... - Facade coat	Filling of the fract... - Expanding foam
Addition of wefts - Epoxy bonding mortar	Addition of waterpro... - waterproofing product (1)
Addition of waterpro... - waterproofing product (1)	Addition of waterpro... - waterproofing product (2)
Addition of waterpro... - waterproofing product (2)	Facade coating - Porosity regulator
Removal of residues - Hydrochloric acid 33%	Adding fixative betw... - Primer
Facade coating - Porosity regulator	Addition of wefts - Epoxy bonding mortar
Filling of the fract... - Mastic silicone	Filling of the fract... - Mastic silicone

Industrial chemical emissions

Surface preparation ... - Dust emissions during sanding	Treatment of protrud... - Dust emissions
Treatment of protrud... - Dust emissions	Cutting and fixing o... - Plastic fumes
Cutting and fixing o... - Plastic fumes	Surface preparation ... - Dust emissions during sanding

Figure 4. The prioritization results according to the risk scores for inhalation and dermal (skin and eyes) exposure for labeled products and industrial chemical emissions.

Table 4. The tasks performed in the workstation with labeled products and industrial chemical emissions..

<i>Task</i>	<i>Labeled product</i>	<i>Chemical emissions</i>
Surface preparation and installation of the starting rails (sanding and drilling)	-	Dust emissions
Hot wire cutting of polystyrene insulation boards	-	Plastic combustion fumes
Treatment of protruding angles (reinforcing strips)	-	Dust emissions
Filling fractional gaps	Expanding foam and silicone sealant (mastic)	-
Adding wefts	Epoxy bonding mortar	-
Adding fixative between lattice and plaster	Primer	-
Facade coating	Surface hardener, bonding resin, porosity regulator and facade coat	-
Finishes and removal of residues	Hydrochloric acid; 2 waterproofing products, facade coat	-

Table 5. The hazard and exposure data and levels assigned by Seirich to calculate the inhalation and dermal chemical risk scores for all labeled products used in the workstation. *CPE corresponds to collective protective equipment.

		<i>Inhalation Route</i>				<i>Dermal route</i>				
		Task: Filling fractional gaps								
		P1: Silicone sealant (mastic)		P2: Expanding foam		P1: Silicone sealant (mastic)		P2: Expanding foam		
		<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	
Hazard	No CLP statement	Very low level	- May cause respiratory irritation	Very high level	- May cause allergy or asthmatic symptoms or	No CLP statement	Very low level	- Causes skin irritation	Very high level	- May cause an allergic skin reaction

			<p><i>breathing difficulties if inhaled</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Suspected of causing cancer - May cause harm to breast-fed children - May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure 				- Causes serious eye irritation	
Exposure	Physical state: Paste, considered in liquid category in Seirich	Low level	Physical state: Foam, considered in liquid category in Seirich	Low level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level
	Process: Dispersive	High level	Process: Dispersive	High level	Exposed surface: both hands	Low level	Exposed surface: both hands	Low level
	CPE: Outdoor work by Seirich	Medium level	CPE: Outdoor work	Medium level	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-
	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-	Daily amount: 3 L	High level	Daily amount: 7 L	High level
	Daily amount: 3 L	High level	Daily amount: 7 L	High level				
Risk	Moderate risk		Very high risk		Moderate risk		Very high risk	
	Task: Adding wefts							
P: Epoxy bonding mortar					P: Epoxy bonding mortar			

		<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>
Hazard		- Causes serious eye damage	Medium level	- Causes skin irritation	Medium level
	Exposure	Physical state: Fine powder	High level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level
Process: Open		Medium level	Exposed surface: Both hands	Low level	
CPE: Outdoor work		Medium level	Duration: Not required by Seirich	-	
Duration: Not required by Seirich		-	Daily amount: 279 kg	Not considered for local effects	
Daily amount: 279 kg		Not considered for open process			
Risk	High risk		High risk		
<u>Task: Adding fixative between lattice and plaster</u>					
P: Primer			P: Primer		
		<i>Data</i>	<i>Level</i>		
Hazard		- May produce an allergic reaction	High level	-May produce an allergic reaction	High level
	Exposure	Physical state: Viscous liquid, considered in liquid category in Seirich	Medium level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level
Process: Dispersive		High level	Exposed surface: Both hands	Low level	
CPE: Outdoor work		Medium level	Duration: Not required by Seirich	-	
Duration: Not required by Seirich		-	Daily amount: 8 kg	High level	

	Daily amount: 8 kg		High level					
Risk	Very high risk				High risk			
Task: Facade coating								
P1: Surface hardener		P2: bonding resin		P1: Surface hardener		P2: bonding resin		
	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>
Hazard	- May produce an allergic reaction	High level	May produce an allergic reaction.	High level	-May produce an allergic reaction	High level	-May produce an allergic reaction	High level
Exposure	Physical state: Liquid	Low level	Physical state: Liquid	High level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level
	Process: Dispersive	High level	Process: Dispersive	High level	Exposed surface: The whole body and the face	High level	Exposed surface: The whole body and the face	High level
	CPE: Outdoor work	Medium level	CPE: Outdoor work	Medium level	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-
	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-	Daily amount: 18 kg	Very high level	Daily amount: 14 kg	Very high level
	Daily amount: 18 kg	Very high level	Daily amount: 14 kg	Very high level				
Risk	Very high risk		Very high risk		Very high risk		Very high risk	
P3: Porosity regulator		P4: Facade coat		P3: Porosity regulator		P4: Facade coat		
	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>

Hazard	-May cause respiratory irritation.	Low level	-May produce an allergic reaction.	High level	-Causes skin irritation. Causes serious eye damage.	Medium level	-May produce an allergic reaction.	High level
	Physical state: fine powder	High level	Physical state: paste, considered in liquid category in Seirich.	Low level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level
Exposure	Process: Dispersive	High level	Process: Dispersive	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level
	CPE: Outdoor work	Medium level	CPE: Outdoor work	Medium level	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-
	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-	Daily amount: 5 kg	High level	Daily amount: 270 kg	Very high level
	Daily amount: 5 kg	High level	Daily amount: 270 kg	Very high level				
	High risk		High risk		High risk		Very high risk	
Task: Finishes and removal of residues								
P1: Hydrochloric acid		P2: Waterproofing product (1)		P1: Hydrochloric acid		P2: Waterproofing product (1)		
<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	
Hazard	-May cause respiratory irritation	Low level	-Causes serious eye damage	Medium level	-Causes severe skin burns and eye	High level	-Causes skin irritation -May cause	Medium level

					<i>damage</i>		<i>an allergic skin reaction</i>	
Exposure	Physical state: Liquid	Low level	Physical state: Fine powder	High level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level
	Process: Dispersive	High level	Process: Dispersive	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level
	CPE: Outdoor work	Medium level	CPE: Outdoor work	Medium level	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-
	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-	Daily amount	not considered for local effects	Daily amount	Not considered for local effects
	Daily amount: 3 L	High level	Daily amount: 18 kg	Very high level				
Risk	High risk		High risk		Very high risk		High risk	
	P3: Waterproofing product (2)		P4: Facade coat		P3: Waterproofing product (2)		P4: Facade coat	
	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>	<i>Data</i>	<i>Level</i>
Hazard	- Causes serious eye damage	Medium level	-May produce an allergic reaction.	High level	- Causes skin irritation - May cause an allergic skin reaction - Causes	Medium level	-May produce an allergic reaction.	High level

					<i>serious eye damage</i>			
Exposure	Physical state: Fine powder	High level	Physical state: Paste, considered in liquid category in Seirich.	Low level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level	Exposure scenario: Possible contact of the product with a part of the body	Low level
	Process: Dispersive	High level	Process: Dispersive	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level
	CPE: Outdoor work	Medium level	CPE: Outdoor work	Medium level	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-
	Duration: Not required by Seirich	-	Duration: Not required by Seirich	-	Daily amount	Not considered for local effects	Daily amount: 270 kg	Very high level
	Daily amount: 18 kg	Very high level	Daily amount: :270 kg	Very high level				
Risk	High risk		High risk		High risk		Very high risk	

426

427

Table 6. The hazard and exposure data and levels assigned by Seirich to calculate the inhalation and dermal chemical risk scores for all industrial emissions released in the workstation. * CPE corresponds to collective protective equipment

428

429

<i>Inhalation Route</i>		<i>Dermal route</i>	
Task: Surface preparation and installation of the starting rails (sanding and drilling)			
Data	Level	Data	Level

Hazard	Dust emissions	High level	Dust emissions	Very low level
Exposure	Physical state: Not required for emissions	-	Exposure scenario: Possible generation of splashes or aerosols (e.g., projection of drops during spill operations, projection of oil mists by rotating machines).	Medium level
	Process: Dispersive	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level
	CPE: Outdoor work	Medium level	Duration: 1h – 4h	Medium level
	Duration: 1h – 4h	Medium level	Daily amount: Not required for emissions	-
	Daily amount: Not required for emissions	-		
Risk	Very high risk		Moderate risk	
<u>Task: Hot wire cutting of polystyrene insulation boards</u>				
	Data	Level	Data	Level
Hazard	Plastic combustion fumes	High level	Plastic combustion fumes	Very low level
Exposure	Physical state: Not required for emissions	-	Exposure scenario: Possible generation of splashes or aerosols (e.g., projection of drops during spill operations, projection of oil mists by rotating machines).	Medium level
	Process: Dispersive	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level
	CPE: Outdoor work	Medium level	Duration: 15min - 1h	Low level
	Duration: 15min - 1h	Low level	Daily amount: Not required for emissions	-
	Daily amount: Not required for emissions	-		
Risk	High risk		Moderate risk	
<u>Task: Treatment of protruding angles (reinforcing strips)</u>				
	Data	Level	Data	Level

Hazard	Dust emissions	High level	Dust emissions	High level
	Physical state: Not required for emissions	-	Exposure scenario: Possible generation of splashes or aerosols (e.g., projection of drops during spill operations, projection of oil mists by rotating machines).	Medium level
Exposure	Process: Dispersive	High level	Exposed surface: The whole body or face	High level
	CPE: Outdoor work	Medium level	Duration: 1h-4h	Medium level
	Duration: 1h-4h	Medium level	Daily amount: Not required for emissions	-
	Daily amount: Not required for emissions	-		
Risk	Very high risk		Very high risk	

430

431

Author Contributions: All authors have contributed to redaction and validation of this article. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

432

433

Funding: for this project was provided by the INRS.

434

Data Availability Statement: The Seirich tool is available on the web at: <https://www.seirich.fr/>

435

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest relating to the material presented in this article. Its contents, including any opinions and/or conclusions expressed, are solely those of the authors.

436

437

References

438

ANSES. 2013. ANSES's work and involvement in the area of endocrine disruptors. <https://www.anses.fr/en/content/anses-work-and-involvement-area-endocrine-disruptors> (accessed 1.28.22).

439

440

Arnone, M., Koppisch, D., Smola, T., Gabriel, S., Verbist, K., Visser, R., 2015. Hazard banding in compliance with the new Globally Harmonised System (GHS) for use in control banding tools. *Regul Toxicol Pharmacol* 73, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.07.014>

441

442

443

ANSES. 2019. AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif à la proposition de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel - Evaluation des effets sur la santé sur le lieu de travail pour les poussières dites sans effet spécifique (PSES). <https://www.anses.fr/fr/content/avis-et-rapport-de-lanses-relatif-%C3%A0-la-proposition-de-valeurs-limites-dexposition-%C3%A0-des> (accessed 11.29.21).

444

445

446

447

Federal Institute for Occupational Safety and Health. BAuA - Easy-to-use Workplace Control Scheme for Hazardous Substances (EMKG) - Easy-to-use Workplace Control Scheme for Hazardous Substances (EMKG). <https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Hazardous-substances/EMKG/Easy-to-use-workplace-control-scheme-EMKG.html> (accessed 9.28.21).

448

449

450

Brooke, I.M., 1998. A UK Scheme to Help Small Firms Control Health Risks from Chemicals: Toxicological Considerations. *The Annals of Occupational Hygiene* 42, 377–390. <https://doi.org/10.1093/annhyg/42.6.377>

451

452

Cherrie, J., Schneider, T., Spankie, S., Quinn, M., 1996. A new method for structured, subjective assessments of past concentrations. *Occup Hyg* 3, 75–83.

453

454

Cherrie, J.W., Schneider, T., 1999. Validation of a New Method for Structured Subjective Assessment of Past Concentrations. *The Annals of Occupational Hygiene* 43, 235–245. <https://doi.org/10.1093/annhyg/43.4.235>

455

456

Bögi, C., Sylvia Jacobi, Hsieng-Ye Chang, Dook Noij, 2012. ECETOC TRA version 3: Background and Rationale for the Improvements.

457

458

ECHA. Endocrine disruptor assessment. <https://echa.europa.eu/fr/understanding-ed-assessment> (accessed 1.28.22).

- European Chemicals Agency. 2015. Guidance on information requirements and chemical safety assessment: Chapter 12: Use description, version 3.0 December 2015. Publications Office, LU. 459
460
- European Chemicals Agency. 2016. Guidance on information requirements and chemical safety assessment: Chapter 14: occupational exposure assessment, version 3.0 August 2016. Publications Office, LU. 461
462
- European Chemicals Agency (EU body or agency). 2019. Report on improvement of quality of SDS: WG “Joint initiative ECHA Forum – ECHA ASOs on improvement of the quality of SDS” : forum. Publications Office of the European Union, LU. 463
464
- Garrod, A.N.I., Evans, P.G., Davy, C.W., 2007. Risk management measures for chemicals: the “COSHH essentials” approach. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 17, S48–S54. <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500585> 465
466
- Health and Safety Executive (HSE), 1999. COSHH essentials: easy steps to control chemicals ; [under the] Control of Substances Hazardous to Health Regulations ; [control guidance sheets], HSG. HSE Books, Sudbury, Suffolk. 467
468
- Landberg, H.E., Westberg, H, Tinnerberg, H.2018. Evaluation of risk assessment approaches of occupational chemical exposures based on models in comparison with measurements - ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753517315631> (accessed 1.22.20). 469
470
471
- Hodson, L., Adrienne, E., Herbers, R., 2019. An evaluation of engineered nanomaterial safety data sheets for safety and health information post implementation of the revised hazard communication standard. *J Chem Health Saf* 26, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2018.10.002> 472
473
474
- INRS. 2009. Les méthodes d'évaluation des risques chimiques. Une analyse critique - Article de revue. <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202312> (accessed 1.4.22). 475
476
- Marquart, H., Heussen, H., Le Feber, M., Noy, D., Tielemans, E., Schinkel, J., West, J., Van Der Schaaf, D., 2008. “Stoffenmanager”, a web-based control banding tool using an exposure process model. *Ann Occup Hyg* 52, 429–441. <https://doi.org/10.1093/annhyg/men032> 477
478
479
- INRS.2005. Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique : un outil d'aide à la décision - Article de revue. <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202233> (accessed 7.20.21). 480
481
- Naumann, B.D., Sargent, E., Starkman, B.S., Fraser, W.J., Becker, G.T., and Kirk, G.D. 2010. Performance-Based Exposure Control Limits for Pharmaceutical Active Ingredients. *American Industrial Hygiene Association Journal*: Vol 57, No 1. DOI: <https://doi.org/10.1080/15428119691015197> 482
483
484
- INRS. Perturbateurs endocriniens. 2021. Ce qu'il faut retenir. <https://www.inrs.fr/risques/perturbateurs-endocriniens/ce-qu-il-faut-retenir.html> (accessed 2.22.22). 485
486
- Skjong, R., Wentworth, B., Norske, D., Hovik, V., Norway, 2011. Expert Judgment and Risk Perception. 487
- EU Science Hub - European Commission; team, F., 2013. The European Union System for the Evaluation of Substances. <https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/european-union-system-evaluation-substances> (accessed 7.23.21). 488
489
- Institute for Health and Consumer Protection. European Chemicals Bureau. 2003. Technical Guidance Document on Risk Assessment- Part I. <https://www.scribd.com/document/442040269/tgdpart1-2ed-en-pdf> 490
491
- Triolet, J., Héry, M. Les méthodes d'évaluation des risques chimiques – une analyse critique. 2009. INRS- Hygiène et Sécurité au Travail, HST - Cahiers de notes documentaires - 3ème trimestre 2009, ND 2312 (216). 492
493
- Vincent, R., Bonthoux, F., Mallet, G., Iparraguirre, J.F., Rio, S. Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique: un outil d'aide à la décision. 2005. Hygiène et Sécurité au Travail, 2005, HST - Cahiers de notes documentaires - 3ème trimestre 2005, ND 2233 (200), pp.39 - 62. (hal-03752064) 494
495
496
- Zalk, D., Nelson, D., 2008. History and Evolution of Control Banding: A Review. *Journal of occupational and environmental hygiene* 5, 330–46. <https://doi.org/10.1080/15459620801997916> 497
498
- Zalk, D.M., Heussen, G.H., 2011. Banding the World Together; The Global Growth of Control Banding and Qualitative Occupational Risk Management. *Safety and Health at Work* 2, 375–379. <https://doi.org/10.5491/SHAW.2011.2.4.375> 499
500

CHAPITRE 2. OBJECTIF ET STRATEGIE GENERALE DE LA THESE

I. Objectif

L'objectif général de cette thèse est l'amélioration des algorithmes d'évaluation du logiciel Seirich développé et maintenu par l'INRS, afin de le pérenniser et de renforcer son statut de méthode de référence en évaluation des risques chimiques professionnels en France. Si l'expérience acquise lors de l'utilisation de l'outil par les entreprises a déjà montré certaines limites qui sont donc a priori connues, il a semblé nécessaire d'approfondir cette question et de construire une méthodologie permettant d'identifier l'ensemble des limites actuelles dans les algorithmes de Seirich, pour proposer des solutions correctives adaptées à long terme.

Ainsi, ce projet vise à répondre aux questions suivantes :

1. Quelle méthodologie adopter pour identifier toutes les limites des algorithmes d'évaluation de risque de Seirich ?
2. Quelles sont les solutions à proposer pour corriger les limites identifiées ?
3. Comment évaluer la pertinence de ces solutions par rapport à la réalité du terrain ?

II. Stratégie générale

La stratégie générale de la thèse comprend trois phases et est présentée schématiquement dans la figure 8.

- La première concerne la conception d'une matrice de risque de situations de travail réelles qui seront liées à un score de risque. Quarante-huit situations de travail représentant différents secteurs de l'industrie française ont été collectées à partir de 56 mémoires de préventeurs des services régionaux de prévention des caisses d'assurance retraite et de la santé au travail. Leurs scores de risque ont été établis par le jugement collégial de 21 experts en utilisant la méthode de Delphes.
- La deuxième phase concerne l'identification des limites dans les algorithmes d'évaluation des risques pour la santé (voies inhalée et cutanée/oculaire) :
 - > Comparaison des évaluations de risque établies par Seirich avec des données issues de la matrice de risque.
 - > Analyse de constats des utilisateurs qui ont été transmis au service d'assistance de l'INRS, géré par l'équipe du projet Seirich, pour assurer l'aide des entreprises à son utilisation.

- > Comparaison de Seirich avec d'autres outils d'évaluation du risque chimique. Elle porte essentiellement sur les paramètres d'entrée utilisés par chaque outil pour évaluer le risque.

Les limites identifiées faisant l'objet de points d'amélioration sont ensuite triées via des critères de choix. Des solutions algorithmiques ont été proposées pour chacune des limites retenues.

Ces deux phases ont permis de répondre aux deux premières questions de recherche.

- La troisième phase de la thèse répond à la troisième question de recherche. Elle consiste en l'évaluation de l'impact des solutions proposées pour améliorer Seirich. Cette évaluation a été réalisée en appliquant chacune des solutions sur des situations de travail provenant d'inventaires réels, fournis par des entreprises volontaires. L'impact est alors mesuré par le nombre de situations de travail qui changent de scores de risque, puis par le nombre de celles pour lesquelles ce changement est suffisamment important pour entraîner une modification visuelle du « niveau de risque », c'est-à-dire un changement de la couleur affectée au risque dans le logiciel (rouge, orange, vert), qui est aisément identifiable par l'utilisateur.

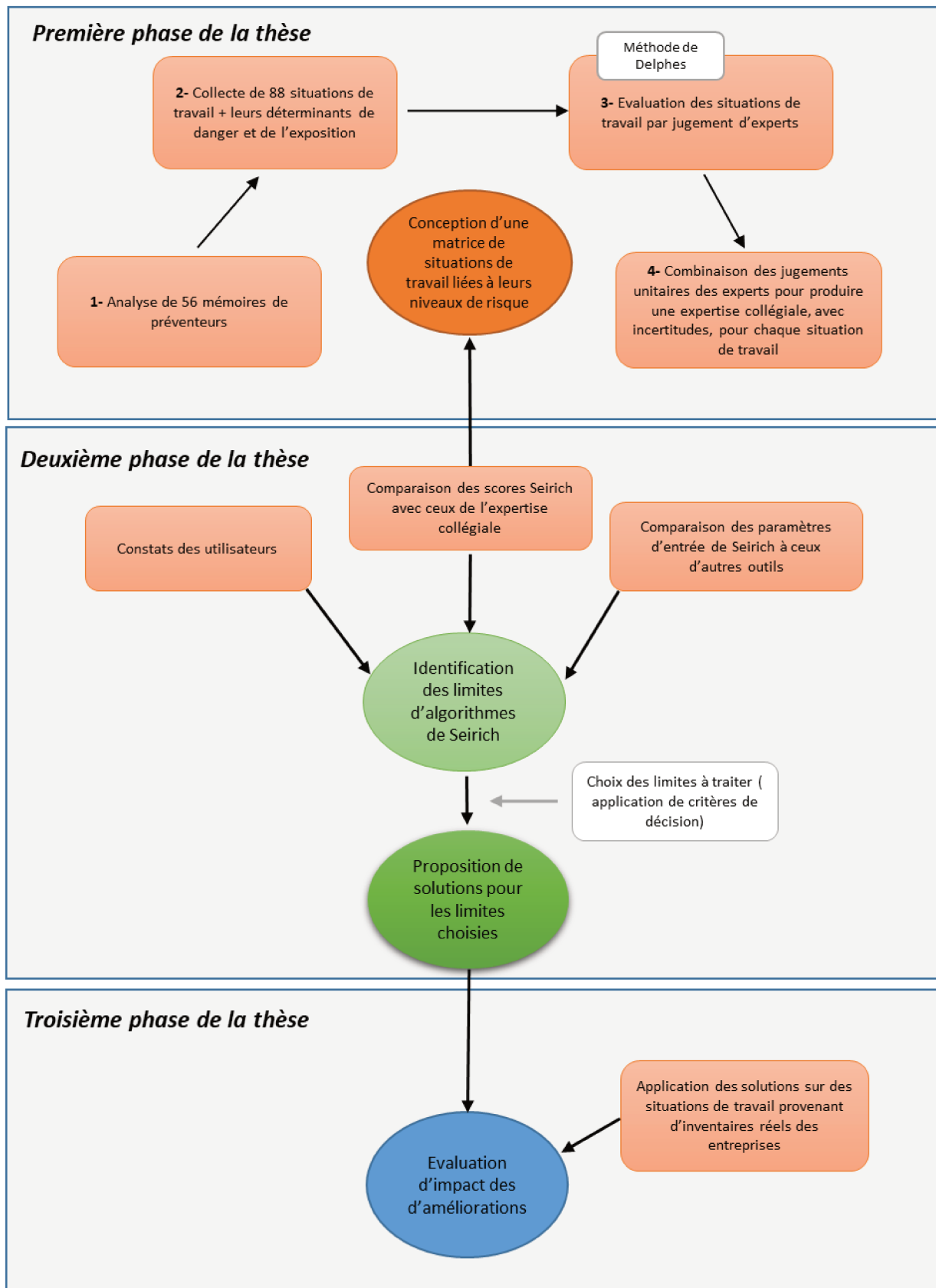


FIGURE 8. STRATEGIE GENERALE DE LA THESE

La suite de ce manuscrit est ainsi organisée comme suit :

- Le chapitre 3 développe toutes les étapes de conception de la matrice qui lie les situations de travail à leurs niveaux de risque : Première phase dans la figure 8.
- Le chapitre 4 concerne l'amélioration des algorithmes de Seirich. Il présente la méthode et les résultats d'identification des limites de l'outil puis les points d'amélioration identifiés et retenus. Enfin la méthode et les résultats de conception des solutions envisagées pour corriger les limites identifiées (deuxième phase dans la figure 8).
- Le chapitre 5 présente la méthode et les résultats de l'évaluation de l'impact des solutions proposées sur des inventaires réels : troisième phase dans la figure 8.
- Le 6^{ème} chapitre est une discussion générale sur la plus-value de ce travail et les limites qui y sont liées.
- Enfin, le 7^{ème} chapitre présente les perspectives envisagées pour ce projet.

CHAPITRE 3. CONCEPTION D'UNE MATRICE QUI LIE DES SITUATIONS DE TRAVAIL A DES NIVEAUX DE RISQUE CHIMIQUE

La matrice de risque a pour objectif de relier des situations de travail à leur niveau de risque chimique pour la santé. Cette matrice s'est limitée à étudier la voie d'exposition par inhalation car il y a un manque réel dans les méthodes d'évaluation des risques liés à la voie cutanée. Elles ne sont pas nombreuses ni assez développées et les données d'exposition ne sont pas toujours disponibles. Le but est d'avoir une base de comparaison pour les résultats des évaluations données par le logiciel Seirich. Cette base est construite à partir d'évaluations issues du jugement d'experts (voir la stratégie générale précédemment décrite).

Quatre-vingt-huit situations de travail représentant différents secteurs de l'industrie française ont été extraites à partir de rapports de thèse de préventeurs, et pour chacune d'entre elles, des données sur les expositions (type de procédés, protection collective, quantité utilisée si disponible...) et les dangers (FDS, classification CLP) ont été recueillies. Ensuite, chaque situation de travail a été associée à un niveau de risque chimique par inhalation évalué par des experts selon la méthode de Delphes (21 au premier tour et 17 au deuxième tour). Les experts choisis ne devaient pas être familiarisés avec le logiciel Seirich, afin de ne pas disposer d'une base de comparaison similaire. Au premier tour, chaque expert a attribué, pour chaque situation de travail, un niveau de risque chimique exprimé sous la forme d'un intervalle de valeurs compris entre 0 et 100. L'amplitude de l'intervalle a été choisie par l'expert afin de représenter la confiance qu'il a portée à son propre jugement (au vu de la situation et des données renseignées). Ces intervalles de score ont à chaque fois été associés à des commentaires justificatifs (commentaires libres). Lors du deuxième tour, les experts avaient à leur disposition le niveau moyen défini par l'ensemble des experts, et ils ont réévalué (ou pas) les niveaux de risque qu'ils avaient initialement proposés lors du 1^{er} tour. Ceci a permis de préciser certains niveaux de risque et d'obtenir, si nécessaire, des niveaux de variabilité plus faibles. Les évaluations des experts ont été fusionnées (lors des deux tours) pour attribuer un score de risque chimique unique pour chaque situation. C'est ce score qui sera comparé aux résultats obtenus dans Seirich. Ce score est associé à un niveau de confiance des experts et un niveau de variabilité de leurs scores respectifs. Les résultats de cette expertise ont montré que 50 % des situations de travail avaient un score de risque compris entre 40 et 60 sur 100. Un consensus global entre les experts concernant les niveaux de risque définis pour chaque situation de travail a été également constaté via le niveau de variabilité faible (15 % en moyenne), et le niveau de confiance fort (82 % en moyenne). Par le biais de commentaires,

les experts ont fait part de leur propre manque de connaissances concernant certaines situations spécifiques, comme le secteur de la fabrication de feux d'artifice, de la viticulture et de la porcelaine. Pour ces situations, les niveaux de risque étaient associés à un niveau de confiance plus faible que les autres.

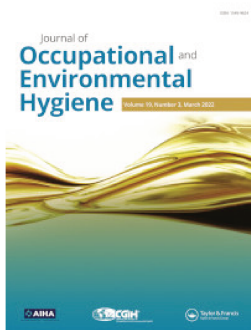
Cette matrice des situations de travail a été utilisée pour comparer les résultats d'évaluation des risques fournies par Seirich sur les mêmes situations que ceux issues de l'expertise, dans le but de détecter les écarts entre les deux. Dans la suite du travail, ces écarts seront analysés pour mettre en évidence d'éventuelles limites (voir le chapitre suivant).

Cette matrice de risque peut être ré-utilisée par les responsables de la sécurité et de la santé au travail qui ont des situations de travail similaires dans leur entreprise (secteur industriel d'Europe occidentale). Dans ce contexte, elle peut être utile pour déterminer facilement le niveau de risque pour des tâches similaires et donner la priorité à celles qui sont les plus préoccupantes. Les situations de travail de la matrice ainsi que leurs déterminants et les scores attribués sont présentés dans l'annexe 2.

Deux rapports de synthèse des résultats ont été réalisés et envoyés aux experts ayant évalué les situations, ainsi qu'à leur hiérarchie. Ces rapports sont présentés dans les annexes 3 et 4.

L'article qui présente ce travail est organisé comme suit :

- I. Introduction
- II. Matériel et méthode
 - II.1. Identification des situations de travail et collecte de données pertinentes
 - II.2. Évaluation des risques avec la technique de Delphes
 - II.3. Agrégation des scores de risque
- III. Résultats
- IV. Discussion
 - IV.1. Les déterminants utilisés pour la caractérisation des dangers et des expositions
 - IV.2. La méthode de jugement d'experts utilisée pour évaluer le risque chimique
 - IV.3. Les limites de l'étude
- V. Conclusion




The design of a matrix linking work situations to chemical health risk at the workplace

Abir Aachimi, Florian Marc, Nathalie Bonvallot & Frédéric Clerc


To cite this article: Abir Aachimi, Florian Marc, Nathalie Bonvallot & Frédéric Clerc (2022) The design of a matrix linking work situations to chemical health risk at the workplace, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 19:3, 157-168, DOI: [10.1080/15459624.2021.2023161](https://doi.org/10.1080/15459624.2021.2023161)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/15459624.2021.2023161>

 View supplementary material [↗](#)

 Published online: 10 Feb 2022.

 Submit your article to this journal [↗](#)

 Article views: 337

 View related articles [↗](#)

 View Crossmark data [↗](#)



The design of a matrix linking work situations to chemical health risk at the workplace

Abir Aachimi^{a,b} , Florian Marc^c, Nathalie Bonvallot^b , and Frédéric Clerc^a

^aDepartment of Pollutant Metrology, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Vandoeuvre-lès Nancy, France; ^bUniv Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail), Rennes, France; ^cDepartment of Expertise and Technical Consulting, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Paris, France

ABSTRACT

In France, laws require each company to draw up an inventory of the risks that may threaten employees' health in order to prioritize the preventive actions to be implemented. Focusing on chemical risk, databases on hazards or exposures are widely available but they lack information regarding chemical risks resulting from combining the hazards of chemicals with their conditions of use, thus generating exposures. Our objective is to build a matrix of French work situations associated with their chemical risk. Eighty-eight work situations were collected from reports written by professionals from the French public health insurance service. Each work situation is defined by descriptive parameters of the task, the exposure, and the hazard. According to an expert elicitation method (Delphi, $n = 21$ experts), each work situation was assessed and a chemical risk score defined, taking into account all the descriptive exposure and hazard parameters. Chemical risk scores were expressed as a range of values from 0 to 100, with the size of the range chosen by the experts themselves according to their uncertainty. The experts' assessments were merged to assign one risk score for each work situation, variability, and confidence. The results showed that 50% of the work situations had a risk score between 40 and 60. The average variability and confidence were around 15% and 82%, respectively. This work situation matrix constructed from French data can be used by occupational safety and health managers that have similar work situations in their company (Western European industrial sector). In this context, it may be useful to easily determine the level of risks for similar tasks and prioritize those that are most risky. Moreover, it could be used to compare and define the differences between a risk assessment performed by "expertise" and another defined by a software.

KEYWORDS

Chemical risk assessment; chemical risk matrix; expert elicitation; real work situation

Introduction

The aim of Occupational Safety and Health is to prevent and control all types of occupational risk: this implies prioritizing actions, often starting by reducing occupational hazardous factors at work (WHO 2001). More specifically, in order to prioritize actions in occupational safety, it is necessary to carry out a health risk assessment. For chemical risk, the principle is based on the combination of two main parameters: hazard and exposure. It involves the identification and characterization of all types of hazards, as well as the description of the exposure conditions that might generate a risk. Therefore, several types of tools have been developed to help characterize the hazard and assess exposure potential.

Regarding hazard identification and characterization, numerous databases have been developed to obtain data on the toxicity of chemicals. For example, the WHO/IPCS INCHEM Database described by Meek et al. (2011) is a tool that provides rapid access to internationally available information on chemicals published through the International Programme on Chemical Safety (www.inchem.org). Numerous types of chemicals from the full range of exposure situations (environment, food, occupational) are included. In addition, at the European level, the regulatory C&L Inventory database (<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/cl-inventory-database>) contains classification and labeling information on registered and notified substances on the European market. At the company level,

CONTACT Abir Aachimi  Abir.aachimi@inrs.fr, Abiraachimi57@gmail.com  Department of Pollutant Metrology, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 1 rue du Morvan, Vandoeuvre-lès Nancy 54500, France

 Supplemental data for this article is available online at <https://doi.org/10.1080/15459624.2021.2023161>. AIHA and ACGIH members may also access supplementary material at <http://oeh.tandfonline.com>.

there are regulatory documents such as safety data sheets (SDS) which gather information related to occupational safety and health and also instructions for the safe use of substances, products, and materials. For example, in France, the toxicological datasheet database from the INRS (<http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox.html>) provides information concerning hazards and regulations and also medical and technical advice for more than 300 chemical substances.

Several occupational chemical exposure databases are available in the framework of exposure assessments. They contain workplace exposure measurements for various sectors of activity. Among the oldest is the MEGA database from the Institute for Occupational Safety (IFA) of the German Berufsgenossenschaften (BG). As mentioned in the study of Gabriel et al. (2010), this databank has included over 2 million workplace measurements of chemical and biological agents since 1972. The Integrated Management Information System (IMIS) serves the same function in the United States. Lavoue et al. (2013) stated that this database was created in 1979 and contains a very large set of workplace air measurement data collected and maintained by the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) since 1976. In France, there are two occupational exposure databases, Colchic and Scola, that have been developed by the French National Research and Safety Institute for occupational risk prevention in France (www.inrs.fr). Colchic, created in 1986, centralizes more than one million exposure measurements collected by INRS and the inter-regional chemistry laboratories of the health and pension insurance service (Vincent and Jeandel 2001). In addition, Scola, created in 2007, records more than 80,000 exposure measurements collected by accredited organizations operating according to French regulations. Both these databases provide an overview of occupational exposures to different chemicals for the sectors of activity considered as presenting the highest chemical risk in France, according to Mater et al. (2016). In addition, job exposure matrices (JEMs) can be used to estimate occupational exposures in occupational settings. These matrices contain lists of exposure data, exposed populations, and probabilities regarding various chemicals in specific sectors of activity and occupations. As mentioned in the review by Sadhra et al. (2017), JEMs have been constructed and increasingly used all over the world over the past two decades. In the United Kingdom, Pannett et al. (1985) developed a JEM for use in population-based studies of occupational morbidity and mortality. In the United States, Sieber et al.

(1991) built a JEM based on exposure data collected from the 1972 to 1974 National Occupational Hazard Survey (NOHS). Furthermore, in Finland, Kauppinen et al. (1998) developed a new job-exposure matrix that contains more information than the standard JEMs: definitions, inferences, exposure data, and references. This modified JEM can be applied as a general exposure information system for hazard control, monitoring, and risk quantification. In France, Fevotte et al. (2011) described several job-exposure matrices adapted to the general French population (Matgéné program) that were constructed to estimate the prevalence of occupational exposures in the population and to study variations in this prevalence according to several parameters (e.g., gender, age, region, and so forth).

In France, as in other countries, occupational risk assessment is part of each employer's regulatory obligations (Safety and health at work EU-OSH - Directive 89/391/EEC). For each company, an inventory of the risks that could threaten an employee's health has to be drawn up. Its aim is to prioritize the prevention actions that will be implemented. While both information about hazards and exposures and tools are widely available, as mentioned previously, there is a lack of information regarding chemical risk resulting from the combination of hazard and exposure. However, in each given work situation, this is the risk that employers must assess for the needs of prioritization. According to the sector, company, and activity, each work situation is unique and specific and it is difficult to model chemical risk using only the existing hazard and exposure databases. Therefore, our objective is to build a matrix based on real work situations existing in different sectors of activity in French industry. In this matrix, each work situation is associated with a chemical risk score, taking into account hazard and exposure. This matrix could be useful for companies to determine the level of risk of their work situations if they have any similar to those presented in the matrix, as it would allow them to easily define the preventive actions that must be implemented. Moreover, it could be used to compare and define the differences between a risk assessment performed by "experts" and another defined by a tool.

Methods

Eighty-eight work situations representing different sectors of activity in French industry were collected from reports written by professional occupational hygienists from the "Caisse d'Assurance Retraite et de Santé Au Travail (CARSAT)," a French public health

Table 1. Data used to describe the work situations, in terms of exposure and hazard parameters.

Description of the task	Exposure parameters				Hazard parameters based on the task performed, the hazard can be either a product (e.g., a solvent) or chemicals emitted from the process (e.g., welding fumes). The parameters collected are not the same.	
	Type of process used	Collective protective equipment ^a	Daily amount of products	Personal protective equipment ^b	Product	Chemicals emitted during the process ^c
Data describing the task performed (e.g., printing), the company (e.g., printing company), and the sector of activity. These data help the experts to better understand the task described	<p>The types of processes are defined from the European technical guidance document on risk assessment*:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dispersive: Any process which by the energy deployed or the absence of containment generates emissions into the working atmosphere. • Open: Any process where the material is localized without specific dispersion but which does not have specific containment • Enclosed but regularly opened: Any process which is confined but which can be opened during filling, emptying or control phases • Enclosed: any process that is completely contained. 	<p>Whether the task is performed outdoors or not. In case the task is performed indoors, the presence of a ventilation or collection system helps reduce the level of exposure to chemicals. The different modalities are Operative / not operative general ventilation, The use or not of a collection with the type (e.g., fume cupboard, booth) if existing</p>	<p>It is given when it is mentioned in the original report; it corresponds to the quantity of the product used in 1 day.</p>	<p>The use of a personal protective equipment helps to refine the level of risk especially when the use of collective equipment is insufficient to allow a sufficient protection.</p>	<p>Product name and its Safety data sheets: for chemical properties and hazard statements H and EUH (according to the CLP regulation)</p>	<p>Names of chemical emitted during the processes;</p>

^aThis term refers to the ventilation controls and local exhaust ventilation

^bThe use of personal protective equipment is indicated in the matrix to enable the experts to refine the level of risk they define.

^cThe level of hazard of the chemical substances emitted during the process is evaluated based on professional skills and experience.

*Technical guidance document on risk assessment. [Cited 2021 Apr 28]. Available from: https://echa.europa.eu/documents/10162/16960216/tgdpart2_2ed_en.pdf.

Table 2. Experts' profiles and affiliation.

Expert profile	Affiliation	First round		Second round	
		Experts solicited	Experts who participated	Experts solicited	Experts who participated
Expert chemist and professional in OSH	INRS and university	15	13	13	8
Toxicologist	INRS and university	3	3	3	2
Occupational physician	INRS	1	1	1	1
OSH expert	French health insurance	22	8	8	6
Total		41	25	25	17

insurance service. Among other tasks, this service is in charge of occupational risk and disease prevention, and assisting enterprises regarding health and safety at work. The work situations are defined by the task description and the hazard and exposure parameters. Using the Delphi technique described by Dalkey and Helmer (1963), each work situation is assessed by a panel of 21 experts in order to define a chemical risk score of each of them.

Identification of typical work situations in France and the collection of relevant data

The INRS maintains a thesaurus of tasks associated with chemical risks performed in French industry. This thesaurus contains 70 large families of tasks that include approximately 400 precise tasks (e.g., manufacturing composite material parts, surface care and treatment, the steelmaking industry and the transformation of ferrous and non-ferrous metals, etc.).

Based on these families of tasks, a search was carried out on a specific documentary portal managed by the INRS to collect hazard and exposure parameters. This portal (INRS – Portal documentaire) gathers specific scientific and technical literature (18,000 books and 63,000 journal articles) and French and European legislation on occupational health and safety. The search covered the period from 2000 to 2019 using the keywords: workplace risk, occupational exposure, chemical risk assessment, and work situations; and keywords that represent the family of tasks concerned. Publications were selected in line with the following criteria: (i) French data, (ii) workplace chemical-related health risk, and (iii) considering the inhalation route only. More than 1,000 documents were initially collected, including articles, brochures, the graduate thesis reports of public health insurance professionals, etc. Publications were then further selected with the following criteria: the abstract addressing the research subject and containing the task description, list of chemicals, and description of exposure. Finally, 63 detailed work situations from the graduate thesis

reports of 56 public health insurance professionals were provided. Professionals from the French public health insurance service wrote these thesis reports after graduating, following several years of field experience in OSH.

The reports did not cover all the large families selected from the INRS thesaurus. Therefore, using available data on the internet describing industrial processes, information on the use of products available in the SDS, and by asking experts, 25 work situations belonging to the missing families were created and added to the list.

Finally, 88 work situations were gathered. The work situations are described by the variables given in Table 1.

Risk assessment with the Delphi technique

The chemical risk assessment was carried out using the Delphi technique (Dalkey and Helmer 1963), a structured interactive prediction technique that involves a group of experts who respond anonymously to a question and then receive feedback as a synthesis of the "group's response," after which the process repeats itself. The objective is to reduce the range of responses and the level of variability among participants. In total, 41 experts with different profiles including toxicologists, occupational physicians, chemical experts, and experts in chemical risk prevention, were solicited to carry out a two-round assessment. Of these, 17 completed both rounds of the assessment (Table 2). We chose different profiles to represent the various topics needed in occupational chemical risk assessment and to have a risk assessment as complete as possible, by considering all the possible approaches, opinions, and positions in terms of chemical risk prevention.

Nine information meetings were organized to explain the procedure to be followed by the experts. Access to data was ensured through a private secured cloud, and consisted of an Excel file with all the relevant information regarding the situation descriptions,

the hazard and the exposure parameters, and 49 spare files for the safety data sheets of the products. The experts were asked not to share their experiences with each other. For each work situation, using a scale from 0 for very low level and 100 for very high level, they first established a hazard score and an exposure score according to the task description, the hazard, and exposure determinants and their experience. Then, they were asked to assess each work situation by establishing a risk score that combined the exposure and hazard scores given previously. The risk scores were expressed as a range of values between 0 for minimal risk and 100 for the highest risk. The experts were asked to define by themselves the "high," "medium," and "low" levels while keeping the limits of the scale fixed. The size of the range was also chosen by the expert and represented the level of uncertainty that they considered in the light of the available data.

In addition, the experts were asked to justify their assessments with comments expressing their opinion on the hazard of the products used and the exposure parameters, i.e., whether the data provided were sufficient, whether important information was missing, and the uncertainty they assigned to the situation to justify the risk score they chose. Each expert filled the fields in the Excel file and sent it back anonymously when finished.

For the second round of assessment, the experts who submitted their first round assessment were asked to repeat the chemical risk assessment for each work situation. The purpose of this re-assessment was to enable each expert to review their chemical risk score by considering the average score defined by all the panel members. This made it possible to obtain more refined risk scores with, if possible, smaller discrepancies.

For the second round, the document provided to each expert was an Excel file that included, in addition to the work situations, the results of the first round of expertise, i.e., the first round average risk score for each work situation, the average confidence level and the average variability for each work situation. A brief summary of the supporting comments from all the experts was also added to the document.

Aggregation of the risk scores

Once all the chemical risk assessment files for the second round were received, the risk scores of each work situation were compiled to define a final risk score. Probabilistic methods were used to merge the different assessments: Monte Carlo sampling (script

developed in Java language, V.13, Oracle, Redwood Shores, CA) was used for computing a risk probability distribution that combined all the assessments for each situation. Each score (range of values) was represented as a uniform distribution over the range defined by the expert. The statistical indicators computed were:

- Indicators regarding the experts

The expert's average score, defined by the average of the risk scores assigned by the expert. The higher the average, the higher the risk score assigned by the expert and thus the more conservative the expert was.

The expert's uncertainty, defined by the average range size of the scores (max–min) given by the expert to all the work situations: the expert with the lowest average range size had the most confidence in their assessment.

- Indicators regarding situations

The risk score of the situation, represented by the arithmetic mean of the final distribution of scores given by the experts. To simplify the description, the risk score could be considered as low, medium, or high according to three levels 0–33, 34–66, and 67–100, respectively.

The confidence of the experts: This indicator was determined by the difference between the maximum confidence value (100) and the average size of the ranges (max–min) given by all the experts to the situation, which represented the level of doubt of the experts regarding the score defined. For example, for a work situation with an arithmetic mean range size of 20, the confidence level was 80%.

The variability of the risk assessments, represented by the standard deviation of the scores given by the experts. The smaller the standard deviation, the less variability in the risk assessment, thus the better the agreement between experts.

The reliability of the expert assessments was assessed by sampling the risk scores so as to simulate the results that would have been obtained with a smaller number of experts. More specifically, each possible combination of k expert assessments out of n total expert assessments were prepared ($k < n$; no replacement; C_n^k samples). The corresponding sampled risk scores were calculated. The percentage difference between the arithmetic average of the sampled risk scores and the actual risk score for all the experts was calculated and discussed.

The experts' comments were examined one by one in order to synthesize as closely as possible the experts' opinions and to have a clear and precise idea of the justifications for the risk levels defined and the reasons for the uncertainties. When the comments of the experts were different, which was often due to uncertainties related to the exposure part (lack of detail regarding certain descriptive parameters), the uncertainty and its reasons were also noted in the synthesis. These supporting comments were particularly useful to justify situations where risk levels were different (high variability between experts) and to note the possible limitations associated with the input data.

Results

Identification of typical work situations in France and the collection of relevant data

The data on 88 French work situations were collected and analyzed. Various types of companies were represented by these work situations. The sectors of activity most represented were: building and construction (16%), automotive (11%), metallurgy (11%), and printing (7%). Table 3 shows two examples of work situations with their exposure and hazard determinants: "electrostatic powder coating" and "welding." All the work situations are described in the chemical risk matrix available in Supplemental File 2.

Two hazard typologies were identified in these work situations: chemicals from labeled products, which concerned 59% of work situations like painting,

gluing, and so on, and those emitted during the process, which concerned 41% of work situations like plastic extrusion and welding, etc.

Risk assessment with the Delphi technique

The risk assessment phase lasted 5 months. For the first round, 25/41 experts participated in the risk assessment. They included 16 experts from the INRS (two toxicologists, one occupational physician, and 13 chemists and OSH professionals), eight OSH field experts from the French health insurance service and one university toxicologist. In the second round, the same experts were solicited. 17/25 experts participated, i.e., 41% of all the experts solicited originally: they included 10 experts from the INRS (one toxicologist, one occupational physician, and eight chemists and professionals in OSH), six OSH experts from the French health insurance service, and one university toxicologist.

Aggregation of risk scores

The results (Figure 1) show that 50% (43 out of 88 situations) of the work situations had an aggregate risk score between 40 and 60. Twenty-seven percent of the situations had an aggregate risk score below 40 (24 out of 88), and 24% had a risk score above 60 (21 out of 88). For example, the aggregate risk scores of the tasks "electrostatic powder coating" and "welding" previously mentioned were 32 and 69, respectively. The risk score of the situation "electrostatic powder coating" was low: the exposure was described by a

Table 3. Two examples of work situations with their exposure and hazard determinants.

Description of the task	Exposure parameters (determinants of exposure)				Hazard parameters	
	Type of process used	Collective protective equipment ^a	Daily amount of products	Personal protective equipment ^b	Product	Chemicals emitted during the process ^c
Electrostatic powder coating of a metal part in a railway seat manufacturing company	Dispersive	Ventilated booth	0.16 kg/day	operative	Powder coating Classified as "causing serious eye irritation," "causing skin irritation" and "may cause an allergic skin reaction" according to the CLP regulation.	–
Welding of a metal piece in a heavy vehicles dealership.	Dispersive	General ventilation	–	not operative	–	Welding fumes

^aThis term refers to the ventilation controls and local exhaust ventilation.

^bThe use of personal protective equipment is indicated in the matrix to enable the experts to refine the level of risk they define.

^cThe level of hazard of the chemical substances emitted during the process is evaluated based on professional skills and experience.

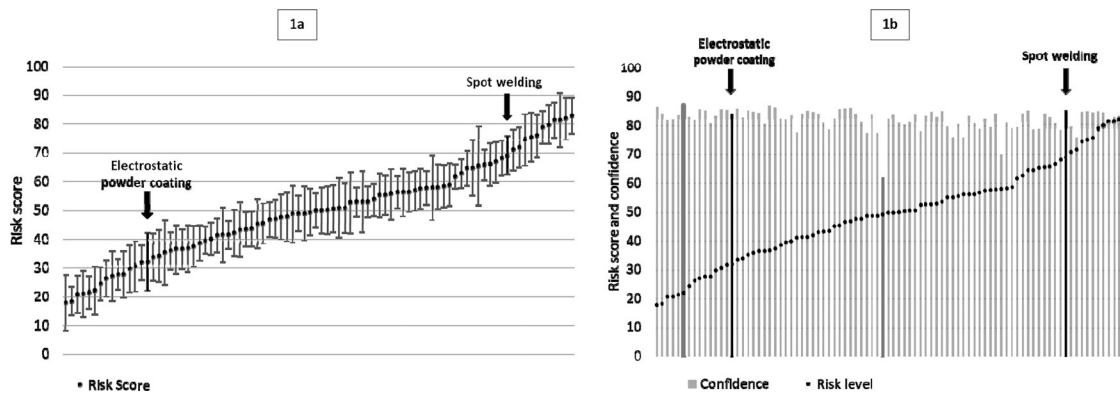


Figure 1. Aggregate risk scores for the 88 French work situations identified with the Delphi method. The work situations are ranked in ascending order of their risk scores, from the situation with the lowest risk score to the one with the highest risk score. The risk scores, represented in black circles, are associated with the variability expressed as an error bar in 1a; and with the confidence level (%) for each situation (gray bar chart) in 1b. The work situation with the lowest confidence level and the one with the highest confidence level are represented in dark gray. The two examples of tasks “electrostatic powder coating” and “spot welding” are represented in black and bold.

dispersive process, an amount of 160 g per day, and the use of collective protective equipment (ventilated booth). The level of exposure was considered “low” by the experts, according to their supporting comments. In addition, for hazard identification, the product was classified as “causing serious eye irritation,” “causing skin irritation” and “may cause an allergic skin reaction” according to the CLP regulation. The level of hazard was considered “low” by the experts. The risk score of the situation “welding” was high: the exposure was described by a dispersive process performed with general ventilation without any other collective or individual protective equipment; the level of exposure was considered “high” by the experts, according to their supporting comments. In addition, for hazard identification, the welding fumes emitted during this process are potentially harmful and can be the cause of intoxication leading to the occurrence of acute or chronic pathologies. The hazard level was considered “high” by the experts.

The variability, shown in Figure 1a, varies between 8% and 28% over all situations. The average variability is 15%. Sixty percent (52 out of 88) of the work situations have a variability lower than 15% and 40% (36 out of 88) of them have a level of variability higher than 15%. The two examples of tasks, “electrostatic powder coating” and “welding,” have a variability of 24% and 17%, respectively. The work situation with the highest variability (28%) is the situation of “loading demolition debris,” performed outdoors and without any individual protective equipment. The risk is related to exposure to mineral and crystalline silica dust. The risk score for this situation was medium (65). The experts considered a high hazard level in the justifying comments. The high level of variability

may have been due to the difference in the experts’ interpretation of the exposure parameters. For example, outdoor work may have been considered as sufficiently naturally ventilated by some experts, while others may have considered the proximity of debris loading to the airways of the workers. In contrast, the work situation with the lowest variability (8%) was “cleaning small metal parts” in a heavy truck dealership; performed indoors via an open process without any collective or individual protective equipment. The risk score for this situation was medium (63); it is related to exposure to a decalcifying cleaner that “causes skin irritation,” “causes serious eye irritation,” and “may cause drowsiness or dizziness” according to the CLP regulation; the hazard level was “medium” according to the experts. The low level of variability was related to the fact that the experts rated very close risk levels for this situation.

The reliability of the risk scores was assessed by calculating the average risk scores obtained for the 136 possible combinations of 15 experts out of the 17 who participated in the second round ($C_{17}^{15} = 136$). For each situation i , the arithmetic average of the 136 sampled risk scores was calculated and compared to the actual aggregate risk score. Overall, the percentage difference varied from -0.24% to $+0.48\%$, showing remarkable reliability in these conditions.

Confidence, shown in Figure 1b, varies between 62% and 87%. The average confidence is 82%. Sixty-seven percent (59 out of 88) of the work situations have a confidence level higher than 82%, while 33% (29 out of 88) of them have a confidence level lower than 82%. The two examples of tasks “electrostatic powder coating” and “welding” have a confidence of 84% and 85%, respectively. The work situation with

the lowest confidence (62%) is a situation of "supervision of fireworks firing" performed outdoors without any individual protective equipment. The risk score related to this situation is medium (49). The low confidence expresses the difference in the knowledge levels of the experts concerning the sector of fireworks as well as the lack of detailed data on this type of hazard. It was described in the justifying comments, in which the experts mentioned that they had no knowledge of this type of situation. Conversely, the work situation with the highest confidence level (87%) was that of "discharging a solvent" in a company processing preprinted paper supports, performed outdoors in a closed process and without any individual protective equipment. The risk score of this situation was low (32); the hazard associated with the effects of the solvent "causes serious eye irritation" and "may cause drowsiness or dizziness" according to the CLP regulation was considered medium by the experts. The exposure was low according to the experts because the task was performed outdoors in a closed process. The high level of confidence was related to the fact that the situation was well described, and the data provided were sufficient to define a level of risk.

The experts' average scores and their uncertainty

The experts' average score was defined by the average of the risk scores defined by the expert for all the work situations. This score reflected the level of conservativeness of each expert. The expert's level of uncertainty was defined by the average size of the ranges given by the expert to all the work situations.

These two indicators calculated for each expert are shown in Figure 2.

The experts' average scores varied between 40 and 72. The mean of these scores was around 52. Fifty three percent (9 out of 17) of the experts had an average score below 52, while 47% (eight out of 17) of them had an average score above 52.

The experts' uncertainty levels varied between 0 and 45%, with an average of 21%. Among the 17 experts, 53% (nine out of 17) had uncertainty levels below 21% while 47% of them (eight out of 21) had uncertainty levels above 21%. Expert "E" reported scores without using ranges, so their level of uncertainty was zero. Experts "P" and "M" were rather less certain in their assessments, with uncertainty levels above 30.

Discussion

A list of real work situations representing various sectors of activity in French industry was drawn up. Each work situation was associated with a score representing the level of risk. The scores were aggregated from assessments given by a panel of experts with different profiles and skills. To our knowledge, this is the first time that a matrix of real work situations associated with a level of risk based on a combination of hazard and exposure has been proposed.

Parameters used for hazard and exposure characterization

As no similar risk matrix is available, a direct comparison with other matrices is not feasible. Nevertheless, it is

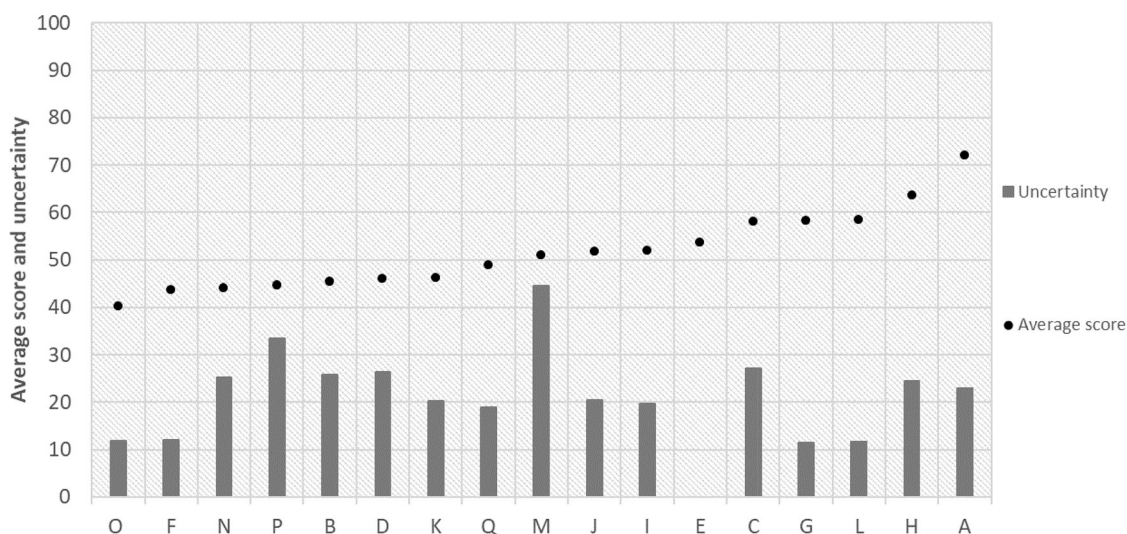


Figure 2. The average score and uncertainty level for each expert who is identified by a letter to respect the anonymous nature of the study. The average scores are ranked in ascending order and are represented as black circles. The uncertainty levels are represented with the gray bar chart.

possible to compare the parameters included in our risk matrix with those used in different risk management tools from universities, such as the health and safety chemical risk form of the University of Melbourne, Australia (available from: https://safety.unimelb.edu.au/_data/assets/work_doc/0010/1714915/Chemical-risk-assessment-form.docx), the chemical risk assessment worksheet of the University of Curtin, Australia (available from: https://healthandsafety.curtin.edu.au/Example_GreenChemicalRiskassessment.pdf), and the risk assessment tool of the University of Memphis, USA (available from: https://www.memphis.edu/ehs/xls/risk_assess_tool.xls). Briefly, these tools rely on the completion of a questionnaire based on data from the SDS of the products and their conditions of use, e.g., process, amount, frequency, and duration. These parameters are similar to those used in our risk matrix, except for frequency and duration of exposure. These parameters were not used because the aim was to evaluate the risk related to the task and not to the work station. In general, the purpose of our risk matrix differs from that of risk management tools. Indeed, the user of these risk management tools evaluates a situation by answering a questionnaire and makes a decision on the risk via the decision grid provided by the tool. In contrast, in our matrix, the objective was to define reference risk scores and obtain an idea of the diversity of expert interpretations.

Expert elicitation method used in chemical risk assessment

The Delphi technique was chosen from among all the methods of eliciting expert opinions (European Food Safety Authority 2014). This technique is commonly used in the literature on health services like the study of McMillan et al. (2016), in risk assessments of human health such as the studies of Rowe and Bolger (2016), Huang et al. (2008), Vance et al. (2015), and Adam-Poupart et al. (2013), and animal health such as the study of Bertocchi et al. (2018), but is rarely used for occupational chemical risk assessments. It was chosen because it allows the inclusion of a large number of participants without the need for physical meetings or exchanges between them, unlike the other methods such as the Sheffield method which usually involves between six to 10 experts at most, as described in the CES REACH-CLP; GT PE (2021) report and a single collective face-to-face meeting. In addition, according to Rowe and Wright (2001), the anonymous nature of the Delphi technique allows the group members to express their opinions in private,

without the effects of influences or pressures exerted by dominant or dogmatic individuals, or by a majority. This allowed each expert to evaluate the work situations in the light of their own skills and experiences. The Delphi technique is interesting for our study because it allowed integrating the reality of the field by involving human experience instead of using only the aggregation of "quantified" parameters: "hazard" data of the CLP, exposure data like quantity and duration. In our study, like others related to human health risk assessment (Huang et al. 2008; Adam-Poupart et al. 2013; Rowe and Bolger 2016), the basic steps of Delphi described in the study of Yousuf (2007) were followed, starting with the selection of experts to analyze the input and share the results with the panel. The selection of experts is an important first step because it is essential to consider their knowledge of the topic and their availability during the Delphi survey process. In the current project, the experts were carefully selected based on their affiliation and their areas of expertise (chemists, occupational physicians, occupational hygienists, and toxicologists), their field experience (ten years or more), and their diversity ensures the quality of the assessment. Indeed, in their study, Benke et al. (1997) quantified the potential effect of exposure misclassification from using expert panels and showed that it could be a significant source of bias if the adequacy of the experts in terms of performances is not verified beforehand. This conclusion can be extrapolated to the risk assessment as well, so the adequacy of the experts' profiles and competencies for this project was considered. Other studies conducted by Logan et al. (2011), and Walker et al. (2003) showed that adequate training, skills, and work experience can have a positive impact on the performance of experts. Moreover, a study conducted by Kromhout et al. (1987) showed that occupational hygienists were successful estimators of exposure; this could confirm the pertinence of our choice to have also engaged hygienists to carry out the assessment.

Generally, the goal of using the Delphi technique is to achieve consensus among experts, as noted by Bourrée et al. (2008) in their study. In this study, the goal was not to seek consensus but rather to have more robust and reliable risk scores. This is the reason why only two rounds were conducted: the first one aiming at defining the first risk assessment of the different situations and the second one aiming at reviewing the risk scores defined. This was also the choice of Vance et al. (2015), where the goal was to answer a question in the first round and then to rank

the themes resulting from the first round according to their importance. In contrast, three rounds were carried out in the studies of Rowe and Bolger (2016) and Huang et al. (2008), because their goal was to achieve consensus regarding the question. Thus, the risk assessment results obtained are assumed to be reliable for two reasons. First, the variability is low for most work situations. This shows good agreement between all the experts and thus confirms the reliability of the assessment as mentioned in the studies of Goldberg et al. (1993) and De Cock et al. (1996) who investigated inter-rater agreement in exposure assessment. Second, the results of the analysis that was performed by sampling the risk scores so as to simulate the results that would have been obtained with a reduced number of experts showed a very small difference since the percentage on the score was lower than 1%. This fact contributes to the assumption that the agreement between the experts was good enough to confirm the good reliability of the assessment. This method differs from those employed by Stewart et al. (2000), Walker et al. (2003), and Logan et al. (2009). These authors were able to compare the results of the expert panel exposure evaluations with real exposure measurements. In this study, this was not possible because the risk assessment included subjective assessments.

Limitations of the study

One of the limitations of this work may be the absence of representativeness of the French occupational sectors and the small number of situations assessed ($n=88$). However, our goal was not to obtain representativeness of sectors, but rather a greater diversity of the sectors of activity most exposed to chemical risks. According to our literature search, i.e., the thesis reports of public health insurance professionals, we consider that this diversity was well represented here for the sectors targeted. However, the reports produced by public health insurance professionals chosen in this study did not cover the agriculture and medical sectors, which are also known to be sectors with significant chemical risks according to the Eurofound (2013) report.

The quality of the data describing the work situations was sometimes judged insufficient. Indeed, according to the experts' justifying comments, a lack of detail regarding certain descriptive parameters of the work situations was mentioned, especially those describing the exposure part. These parameters are "the type of process" and "the type of protective

equipment," which were not sufficiently described in the experts' opinions. Furthermore, a lack of other descriptive parameters was mentioned in the comments, such as "the distance of the employee from the source of emission," "the volume and surface of the work area," and "the amount of product." These parameters were not available for all the work situations. This lack of details and parameters can be considered as a bias in the exposure assessment and thus the risk assessment. It explained to a large extent the high levels of variability found for some work situations. In their studies, Teschke et al. (1989), De Cock et al. (1996), Walker et al. (2001, 2003), and Logan et al. (2009) showed that professionals' judgments for exposure estimates may not be consistently highly accurate unless more data and training are provided. In addition, according to the experts' supporting comments, it would have been easier for them to have hazard and exposure levels instead of relying only on descriptive parameters to better assess the chemical risk. Furthermore, the reports of the public health insurance professionals did not contain all the data needed to construct the matrix. These missing data concerned the physicochemical properties of the products and the hazards. These data were found in the SDS of the products which were sought from other sources. In addition, for some work situations where chemicals have been banned from use, it was necessary to review and update them with more recent SDS.

The use of SDS to assess the hazards of products can be considered as a bias of the study. Indeed, a review conducted by Nicol et al. (2008) showed that accuracy and completeness were poor in SDSs and noted the high uncertainties regarding the role of SDSs as hazard communication tools. These findings concerned SDSs dating before 2011. Since 2011, the quality of SDSs has improved considerably following ECHA guidance on the drafting of SDSs in conformity with the obligations of REACH regulation no. 453/2010 (European Parliament and of the Council 2010). However, SDSs are still not perfect nowadays and need more improvement according to the European Chemicals Agency (EU body or agency) (2019) report.

Conclusion

This work allowed the construction of the first matrix of real work situations representing different activity sectors in French industry. The risk score for each work situation was defined by expert assessment using the Delphi technique. According to the results of the

risk assessment per situation, a global consensus between the experts for both rounds was achieved. Indeed, the results of the two indicators, "level of variability" and "level of confidence," were acceptable for the majority of the work situations. This matrix can be very useful because it is the first matrix linking real work situations in French industry with their chemical levels of risk by the inhalation route. It can be used by occupational safety and health managers that have similar work situations in their company (Western European industrial sector). In this context, it may be useful to easily determine the level of risks for similar tasks and prioritize those that are most risky. Also, this matrix can be used to compare and define the differences between a risk assessment performed by "expertise" and another defined by a tool.

Our risk matrix will be used to the "expert" risk scores of each work situation with those calculated by the Seirich software (V 3.2, Seirich, France), which is a tool that helps companies to assess their chemical risks. The differences in risk assessments for each work situation will be studied in detail to determine their origin. This will allow us to identify and propose improvements for the software algorithms.

Acknowledgments

The authors would like to thank the study participants and the panel of experts who participated in the risk assessment of the work situations.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest relating to the material presented in this article. Its contents, including any opinions and/or conclusions expressed, are solely those of the authors.

Funding

Funding for this project was provided by the INRS.

Data availability

The matrix is provided in online supporting material so other researchers can use it.

References

Adam-Poupart A, Labrèche F, Smargiassi A, Duguay P, Busque M-A, Gagné C, Rintamäki H, Kjellstrom T, Zayed J. 2013. Climate change and occupational health and safety in a temperate climate: potential impacts and research priorities in Quebec, Canada. *Ind Health*. 51(1): 68–78. doi:10.2486/indhealth.2012-0100

- Benke G, Sim M, Forbes A, Salzberg M. 1997. Retrospective assessment of occupational exposure to chemicals in community-based studies: validity and repeatability of industrial hygiene panel ratings. *Int J Epidemiol*. 26(3): 635–642. doi:10.1093/ije/26.3.635
- Bertocchi L, Fusi F, Angelucci A, Bolzoni L, Pongolini S, Strano RM, Ginestreti J, Riuzzi G, Moroni P, Lorenzi V, et al. 2018. Characterization of hazards, welfare promoters and animal-based measures for the welfare assessment of dairy cows: elicitation of expert opinion. *Prev Vet Med*. 150:8–18. doi:10.1016/j.prevetmed.2017.11.023
- Bourrée F, Michel P, Salmi LR. 2008. [Consensus methods: review of original methods and their main alternatives used in public health]. *Rev Epidemiol Sante Publique*. 56(6):415–423. doi:10.1016/j.respe.2008.09.006
- CES REACH-CLP; GT PE. 2021. Elaboration of a method to categorize substances of interest as regards to their potential endocrine disrupting activity: assessment and categorization of prioritized substances. Expertise report. Paris (France): ANSES. Report NO: 2019-SA-0179 « mise en oeuvre de la SNPE 2 ».
- Dalkey N, Helmer O. 1963. An experimental application of the DELPHI method to the use of experts. *Manage Sci*. 9(3):458–467. doi:10.1287/mnsc.9.3.458
- De Cock J, Kromhout H, Heederik D, Burema J. 1996. Experts' subjective assessment of pesticide exposure in fruit growing. *Scand J Work Environ Health*. 22(6): 425–432. doi:10.5271/sjweh.163
- Eurofound. 2013. Working conditions and occupational risks: SUMER 2010. Dublin (Ireland): European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.
- European Chemicals Agency (EU Body or Agency). 2019. Report on improvement of quality of SDS: WG "Joint initiative ECHA Forum – ECHA ASOs on improvement of the quality of SDS". Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2823/005933>.
- European Food Safety Authority. 2014. Guidance on expert knowledge elicitation in food and feed safety risk assessment. *EFSA J*. 12(6):3734. doi:10.2903/j.efsa.2014.3734
- European Parliament and of the Council. 2010. Commission Regulation (EU) No. 453/2010 amending Regulation (EC) No. 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH); [accessed 2021 Oct 26]. <https://www.ecolex.org/fr/details/legislation/commission-regulation-eu-no-4532010-amending-regulation-ec-no-19072006-of-the-european-parliament-and-of-the-council-on-the-registration-evaluation-authorisation-and-restriction-of-chemicals-reach-lex-faoc095059>.
- Fevotte J, Dananché B, Delabre L, Ducamp S, Garass L, Houot M, Luce D, Orłowski E, et al. 2011. Matgéné: a program to develop job-exposure matrices in the general population in France. *Ann Occup Hyg*. (46–47):362–365.
- Gabriel S, Koppisch D, Range D. 2010. The MGU—a monitoring system for the collection and documentation of valid workplace exposure data. *Gefahrstoffe - Reinhalt Luft*. 70(1):43–49.
- Goldberg M, Kromhout H, Guenel P, Fletcher AC, Gerin M, Glass DC, Heederik D, Kauppinen T, Ponti A. 1993. Job exposure matrices in industry. *Int J Epidemiol*.

- 22(Supplement 2):S10–S15. doi:10.1093/ije/22.Supplement_2.S10
- Huang H-C, Lin W-C, Lin J-D. 2008. Development of a fall-risk checklist using the Delphi technique. *J Clin Nurs*. 17(17):2275–2283. doi:10.1111/j.1365-2702.2008.02337.x
- INRS. Fiches toxicologiques—Publications et outils; [accessed 2020 Oct 21]. <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox.html>.
- INRS. Portail documentaire; [accessed 2021 Nov 17]. <https://portaildocumentaire.inrs.fr/>.
- Kauppinen T, Toikkanen J, Pukkala E. 1998. From cross-tabulations to multipurpose exposure information systems: a new job-exposure matrix. *Am J Ind Med*. 33(4):409–417. doi:10.1002/(sici)1097-0274(199804)33:4 < 409::aid-ajim12 > 3.0.co;2-2
- Kromhout H, Oostendorp Y, Heederik D, Boleij JS. 1987. Agreement between qualitative exposure estimates and quantitative exposure measurements. *Am J Ind Med*. 12(5):551–562. doi:10.1002/ajim.4700120509
- Lavoue J, Friesen MC, Burstyn I. 2013. Workplace measurements by the US Occupational Safety and Health Administration since 1979: descriptive analysis and potential uses for exposure assessment. *Ann Occup Hyg*. 57(1):77–97. doi:10.1093/annhyg/mes055
- Logan P, Ramachandran G, Mulhausen J, Hewett P. 2009. Occupational exposure decisions: can limited data interpretation training help improve accuracy? *Ann Occup Hyg*. 53(4):311–324. doi:10.1093/annhyg/mep011
- Logan PW, Ramachandran G, Mulhausen JR, Banerjee S, Hewett P. 2011. Desktop study of occupational exposure judgments: do education and experience influence accuracy? *J Occup Environ Hyg*. 8(12):746–758. doi:10.1080/15459624.2011.628607
- Mater G, Paris C, Lavoué J. 2016. Descriptive analysis and comparison of two French occupational exposure databases: COLCHIC and SCOLA. *Am J Ind Med*. 59(5):379–391. doi:10.1002/ajim.22569
- Meek MEB, Boobis AR, Crofton KM, Heinemeyer G, Raaij MV, Vickers C. 2011. Risk assessment of combined exposure to multiple chemicals: a WHO/IPCS framework. *Regul Toxicol Pharm*. 60(2):S1–S14. doi:10.1016/j.yrtph.2011.03.010
- McMillan SS, King M, Tully MP. 2016. How to use the nominal group and Delphi techniques. *Int J Clin Pharm*. 38(3):655–662. doi:10.1007/s11096-016-0257-x
- Memphis University. Risk assessment tool; [accessed 2021 Mar 22]. https://www.memphis.edu/ehs/xls/risk_assess_tool.xls.
- Nicol A-M, Hurrell AC, Wahyuni D, McDowall W, Chu W. 2008. Accuracy, comprehensibility, and use of material safety data sheets: a review. *Am J Ind Med*. 51(11):861–876. doi:10.1002/ajim.20613
- Pannett B, Coggon D, Acheson ED. 1985. A job-exposure matrix for use in population based studies in England and Wales. *Br J Ind Med*. 42(11):777–783. doi:10.1136/oem.42.11.777
- Rowe G, Bolger F. 2016. Final report on ‘the identification of food safety priorities using the Delphi technique’. *EFS3*. 13(3):1007E. doi:10.2903/sp.efsa.2016.EN-1007
- Rowe G, Wright G. 2001. Expert opinions in forecasting: the role of the Delphi technique. In: Armstrong JS, editor. *Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners*. Pennsylvania US. p. 125–144.
- Sadhra S, Kurmi OP, Sadhra SS, Lam KBH, Ayres JG. 2017. Occupational COPD and job exposure matrices: a systematic review and meta-analysis. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 12:725–734. doi:10.2147/COPD.S125980
- Sieber WK, Sundin DS, Frazier TM, Robinson CF. 1991. Development, use, and availability of a job exposure matrix based on national occupational hazard survey data. *Am J Ind Med*. 20(2):163–174. doi:10.1002/ajim.4700200204
- Stewart PA, Carel R, Schairer C, Blair A. 2000. Comparison of industrial hygienists’ exposure evaluations for an epidemiologic study. *Scand J Work Environ Health*. 26(1):44–51. doi:10.5271/sjweh.509
- Teschke K, Hertzman C, Dimich-Ward H, Ostry A, Blair J, Hershler R. 1989. A comparison of exposure estimates by worker raters and industrial hygienists. *Scand J Work Environ Health*. 15(6):424–429. doi:10.5271/sjweh.1831
- University of Curtin. 2012. Chemical Risk Assessment worksheet. *Chemical Risk Assessment*. 3;3; [accessed 2021 Mar 22]. https://healthandsafety.curtin.edu.au/Example_GreenChemicalRiskAssessment.pdf.
- University of Melbourne. Chemical risk assessment form—health and safety; [accessed 2021 Mar 22]. https://safety.unimelb.edu.au/__data/assets/word_doc/0010/1714915/Chemical-risk-assessment-form.docx.
- Vance DA, Demel S, Kirksey K, Moynihan M, Hollis K. 2015. A Delphi study for the development of an infant skin breakdown risk assessment tool. *Adv Neonatal Care*. 15(2):150–157. doi:10.1097/ANC.000000000000104
- Vincent R, Jeandel B. 2001. COLCHIC-occupational exposure to chemical agents database: current content and development perspectives. *Appl Occup Environ Hyg*. 16(2):115–121. doi:10.1080/104732201460190
- Walker KD, Catalano P, Hammitt JK, Evans JS. 2003. Use of expert judgment in exposure assessment: part 2. Calibration of expert judgments about personal exposures to benzene. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 13(1):1–16. doi:10.1038/sj.jea.7500253
- Walker KD, Evans JS, Macintosh D. 2001. Use of expert judgment in exposure assessment. Part I. Characterization of personal exposure to benzene. *J Expo Anal Environ Epidemiol*. 11(4):308–322. doi:10.1038/sj.jea.7500171
- WHO. 2001. *Occupational health: a manual for primary health care workers*. Cairo (Egypt): World Health Organization - Regional Office for the Eastern Mediterranean.
- Yousuf M-I. 2007. Using experts’ opinions through Delphi technique. *Pract Assess Res Eval*. 12:4. doi:10.7275/rprh-t210

CHAPITRE 4. AMELIORATION DES ALGORITHMES DE SEIRICH

I. Identification des limites dans les algorithmes de Seirich

Les limites de Seirich ont été identifiées à partir de l'analyse de la comparaison des résultats de Seirich avec ceux de l'expertise issus de la matrice (I.1), des constats remontés par les utilisateurs (I.2), et de la comparaison des paramètres d'entrée de Seirich avec d'autres outils existants par ailleurs, dont la plupart ont déjà été présentés dans l'introduction (I.3) (Figure 8).

I.1. Comparaison des évaluations issues de l'expertise et du logiciel Seirich

I.1.1. Matériel et méthode

Une méthode probabiliste d'agrégation des scores a été utilisée pour élaborer une distribution harmonisée des intervalles d'évaluation fournis par les experts. Le principe repose sur des tirages de Monte Carlo : 1000 tirages aléatoires sont réalisés dans chaque distribution de chaque expert, et ces tirages sont cumulés et normalisés pour produire une distribution des scores par situation. Cette distribution intègre donc le niveau de confiance des experts, ainsi que la dispersion de leurs évaluations. Cette distribution a été utilisée pour définir un intervalle d'incertitude dans le score. Il est défini comme l'intervalle tel qu'il contient 50 % de la densité de probabilité de la distribution autour de la moyenne (équitablement réparti). Par exemple, la situation n°91 (première situation dans la figure 9) présente un score de 18 et la moitié des experts considèrent qu'il se situe entre 11 et 36 sur 100 (bornes de l'incertitude). Le niveau d'incertitude est alors représenté par un intervalle autour du score de risque. Parallèlement, le logiciel Seirich a été utilisé pour évaluer les risques des situations de travail de la matrice.

Pour la comparaison, une mise en correspondance entre les échelles des scores des experts (décimale) et ceux de Seirich (logarithmique à base 10) a été réalisée. Les résultats obtenus par les experts et par Seirich ont été ensuite comparés :

- Les situations ont été jugées « cohérentes » lorsque le score obtenu par le logiciel Seirich se situait dans l'intervalle d'incertitude du score obtenu par l'expertise (dans ce cas le résultat de l'évaluation des risques, au vu des incertitudes, peut être considéré comme similaire entre l'expertise et le logiciel) ;
- Les situations ont été jugées « incohérentes » lorsque le score obtenu par Seirich ne se situait pas dans l'intervalle d'incertitude du score obtenu par l'expertise. La différence entre l'évaluation de l'expertise et le logiciel est considérée comme plus importante que l'incertitude existante. Pour ces situations, une analyse de la synthèse des commentaires justifiant l'attribution des scores des experts (cf. annexe 2), des fiches de données de sécurité (type et mentions de danger des produits), et des déterminants de l'exposition (procédé mis en œuvre, moyens de protection, etc.) a été réalisée afin de comprendre l'origine des incohérences, et comprendre si ces incohérences peuvent être le reflet d'une limite du logiciel. En effet, ni la matrice de risques produites par les experts ni les évaluations produites par le logiciel n'ont été considérées ici comme un « gold standard » étant donné les méthodologies employées.

1.1.2. Résultats

Comparaison des scores obtenus par l'expertise et ceux du logiciel Seirich

La figure 9 illustre les scores de risque pour les 88 situations de travail (détaillées dans l'annexe 2), issus de l'expertise associés à leur incertitude ainsi que ceux issus de Seirich. Sur la totalité des situations de travail, 33 situations sont cohérentes entre Seirich et l'expertise, alors que 55 sont incohérentes (les carrés oranges se situent en dehors des intervalles de confiance représentés par les barres bleues). Parmi ces situations incohérentes, 38 ont un score Seirich plus élevé que celui des experts (le logiciel est plus conservateur), et 17 ont un score Seirich moins élevé que celui des experts (ce sont les experts dans ce cas qui ont été plus conservateurs).

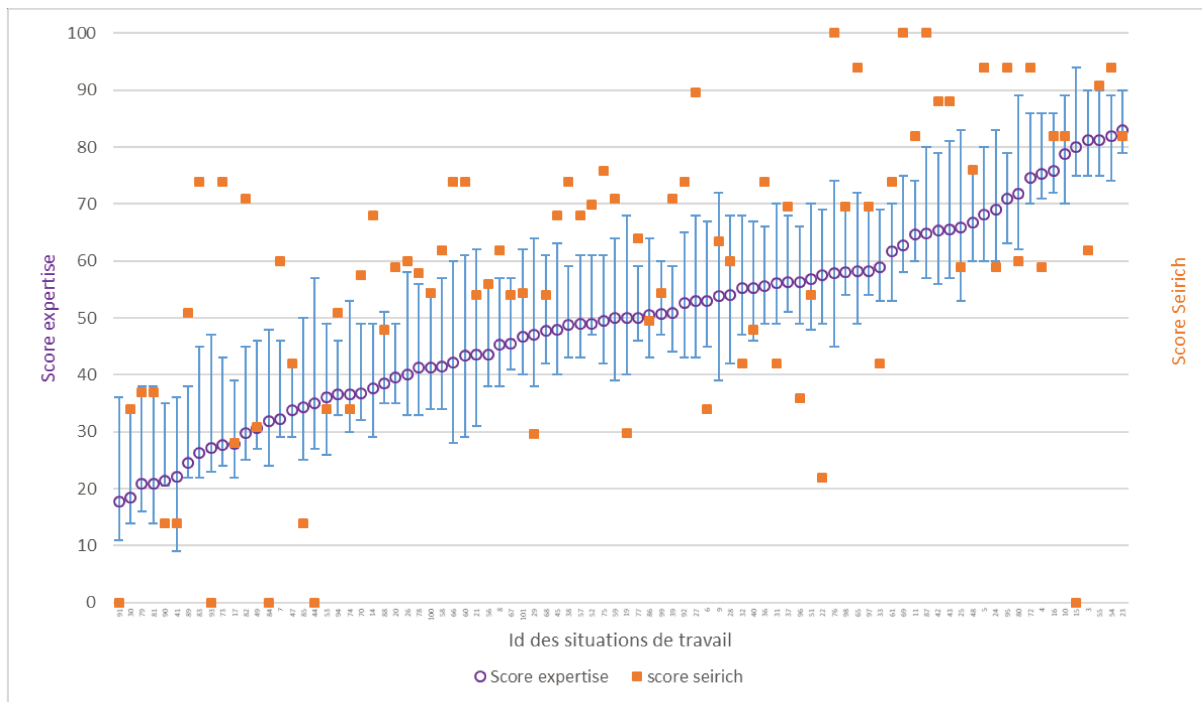


FIGURE 9. COMPARAISON ENTRE LES SCORES OBTENUS PAR L'EXPERTISE ET CEUX OBTENUS PAR LE LOGICIEL SEIRICH POUR L'ENSEMBLE DE SITUATIONS DE TRAVAIL DE LA MATRICE.

CHAQUE POINT DE L'AXE DES ABSCISSES CORRESPOND A UNE SITUATION DE TRAVAIL. LES SCORES D'EXPERTISE PRESENTES EN CERCLES VIOLETS, SONT ASSOCIES A UN NIVEAU D'INCERTITUDE PRESENTE SOUS FORME DE BARRE BLEUE. LES SCORES SEIRICH SONT PRESENTES PAR DES CARRÉS ORANGES. L'ECHELLE DES SCORES SEIRICH A ETE MISE EN CORRESPONDANCE AVEC L'ECHELLE DES EXPERTS, LES VALEURS NE SONT PAS PRESENTEES CAR LES SCORES CORRESPONDANTS SONT CONFIDENTIELS.

Analyse des situations incohérentes et identification des limites

Grâce aux analyses effectuées, l'origine des incohérences a été expliquée pour 34 des 55 situations incohérentes (62 %). Ces situations incohérentes correspondent à :

- Des situations de travail pour lesquelles les dangers sont déterminés par la classification CLP, notamment les éléments de classification suivants :
 - EUH208 : « Contient « nom de la substance sensibilisante ». Peut produire une réaction allergique. Cette mention additionnelle de danger concerne les produits non classés comme sensibilisants mais contenant au moins une substance sensibilisante (respiratoire ou cutanée) à une concentration au-dessus du seuil de déclenchement (0,01 ou 0,1 % selon la catégorie de danger). Ce constat concerne la situation 83.
 - H334 « Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation ». Ceci concerne les situations 87 et 27.
 - H351 « Susceptible de provoquer le cancer ». Ceci concerne la situation 6.

D'après les niveaux de risque obtenus, Seirich est plus conservateur que les experts pour ces situations de travail. Ces incohérences peuvent être expliquées par la perception des experts sur ces mentions de danger : pour la mention EUH208, les seuils de concentrations qui justifient la sensibilisation du produit (0,01 à 0,1 %) ont été considérés comme plus faibles par les experts, justifiant un niveau de danger moins important que Seirich. Pour les mentions H334 et H351, les experts ont considéré ces catégories de danger comme moindre par rapport à ce que Seirich considère. Dans ces cas, les concepteurs du logiciel, sur la base des avis des médecins du travail et des toxicologues, ont jugé qu'un sensibilisant respiratoire devait être traité comme les agents les plus dangereux. De même, ils ont considéré que les cancérigènes de catégorie 2 devaient être classés dans une catégorie élevée, du fait de la possibilité du danger. Le Code du travail⁹ précise bien que la substitution doit être recherchée systématiquement dans le cas de ces agents cancérigènes de catégorie 2.

- Des situations de travail pour lesquelles les dangers ont été définis par les concepteurs du logiciel (concerne les agents chimiques émis) :
 - Fumées de soudage, poussières de béton, poussières de bois, fumées d'artifices, fumées de combustion et poussières de farine. D'après les niveaux de risque obtenus, Seirich est plus conservateur que les experts pour ces 13 situations (identifiants 3, 4, 10, 16, 23, 24, 25, 33, 54, 55, 69, 73 et 75).
 - Fumées de carburant et poussières issues de matières plastiques. D'après les niveaux de risque obtenus, Seirich est moins conservateur que les experts pour ces 6 situations (identifiants 31, 32, 40, 51, 57 et 96).

Ces incohérences peuvent s'expliquer par une différence de perception des dangers des agents chimiques émis entre les experts concepteurs et ceux qui ont été choisis pour analyser les situations de travail de la matrice.

- Des situations de travail pour lesquelles certains types de captages sont utilisés (concerne le score lié à l'exposition) :

⁹ Article R. 4412-66 du Code du travail : Lorsque l'utilisation d'un agent cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction est susceptible de conduire à une exposition, l'employeur réduit l'utilisation de cet agent sur le lieu de travail, notamment en le remplaçant, dans la mesure où cela est techniquement possible, par une substance, une préparation ou un procédé qui, dans ses conditions d'emploi, n'est pas ou est moins dangereux pour la santé ou la sécurité des travailleurs. L'employeur consigne le résultat de ses investigations dans le document unique d'évaluation des risques.

- Une situation (identifiant 76) où le captage de type « cabine pressurisée à air épuré ». D'après les niveaux de risque obtenus, le logiciel Seirich est plus conservateur que les experts.
- Cinq situations utilisant un captage de type « sorbonne ». D'après les niveaux de risques obtenus, le logiciel Seirich est moins conservateur (identifiants 74, 84, 85, 90 et 91).

Ces incohérences peuvent s'expliquer par la différence de prise en compte de la performance des types de captages : par exemple, dans Seirich, la sorbonne et le captage enveloppant conduisent à un score identique alors que les experts ont considérés que la sorbonne est plus efficace.

- Une situation de travail (situation 76) pour laquelle le volume et la surface de la zone de travail ont été pris en considération par les experts pour évaluer le niveau de risque, alors que ces deux déterminants ne sont pas considérés dans les algorithmes du logiciel Seirich, même s'ils peuvent influencer le niveau de risque.
- Deux situations de travail (identifiants 76 et 93) pour lesquelles la distance d'éloignement du salarié vis-à-vis de la source d'émission a été estimée par les experts en fonction de la description de la situation alors que Seirich ne permet pas de renseigner une distance (le paramètre ne considère qu'un seul choix (éloignement du salarié par rapport à la source d'émission : oui/non). Par ailleurs, Seirich ne prend pas en compte la présence d'une ventilation générale de manière simultanée.
- Des situations de travail pour lesquelles les indications utilisées par les experts ne rentrent pas dans le champ d'application de Seirich :
 - Les poussières d'amiante (situation 15). D'autres outils spécifiques permettent d'évaluer les risques liés à l'amiante, comme Scol@miante: <https://www.inrs.fr/actualites/scolamiante.html>.
 - Les produits qui ne sont pas utilisés mais seulement stockés (situation 44).

I.2. Constats des utilisateurs

Avec le lancement du logiciel, l'INRS a mis à disposition un service d'assistance à destination des entreprises afin de les aider dans l'utilisation de Seirich et la réalisation de leur évaluation des risques chimiques. Pour cela, deux niveaux d'assistance ont été déployés : une aide technique concernant les fonctionnalités du logiciel et une aide méthodologique concernant les principes d'évaluation des risques chimiques. C'est dans ce cadre que les utilisateurs peuvent remonter à l'INRS des situations où le résultat de l'évaluation produite par le logiciel Seirich semble incohérent au vu de la réalité du terrain. Ces constats ont été récupérés via le biais d'un entretien avec le responsable du projet. Deux formats différents ont été collectés : des e-mails formels et des comptes rendus de conversations téléphoniques entre le service d'assistance et les entreprises. Une synthèse de ces retours a été ensuite réalisée pour permettre leur analyse approfondie.

Les limites remontées par les utilisateurs sont :

- Mauvaise prise en compte des dangers des produits solides non classés par le CLP pour la santé

En l'absence de mention de danger pour un produit concernant la santé, le score de danger attribué par Seirich est minimal. Le risque est donc jugé minimal également. Parmi ces produits, on peut citer les poudres sans effet spécifique (i.e. carbonate de calcium, silice amorphe, etc.). Ce type de produit chimique peut provoquer diverses pathologies du système respiratoire comme une surcharge pulmonaire ou des effets cancérigènes, allergènes ou irritants comme le mentionne l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (60). Seirich sous-estime ainsi les dangers liés aux produits non classés.

- Absence de considération du déterminant « Fréquence d'utilisation »

Ce déterminant, utilisé dans d'autres méthodologies d'évaluation des risques, comme la ND 2233 sur laquelle se base Seirich, ne figure pas parmi les paramètres d'entrée utilisés pour évaluer le risque. Cette décision a été prise lors de la conception de la méthodologie intégrée à Seirich, elle s'appuie sur deux raisons principales. Premièrement, les retours d'utilisation de la méthode ND 2233 ont montré les difficultés qu'avaient les entreprises à estimer ce déterminant, les difficultés à en établir les modalités de saisie et ont remis en cause

l'importance de son poids dans l'algorithme complet. Deuxièmement, Seirich s'intéresse au risque lié à l'exécution d'une tâche de travail et pas au risque qu'encourt un salarié pendant sa vie professionnelle. L'aspect de répétition et de fréquence d'exposition est donc moins pertinent et peut s'exprimer à travers d'autres déterminants utilisés, comme la durée d'exposition.

- Mauvaise prise en compte de la manipulation de faibles quantités de produits sous le procédé dispersif

Dans Seirich, la quantité journalière n'est utilisée que dans le cas d'un procédé dispersif. L'algorithme d'évaluation du risque pour ce procédé diffère alors des autres (ouvert, clos mais ouvert régulièrement et clos), conduisant à une incohérence dans les scores de risque : dans le cas de l'utilisation de deux produits de même niveau de danger et en petites quantités, le score de risque pour le procédé dispersif sera plus faible que celui du procédé ouvert.

- Mauvaise prise en compte du procédé « clos » pour l'inhalation

Le procédé clos équivaut à un système entièrement fermé qui permet d'éviter l'émission ou la libération du produit dans l'atmosphère de travail et donc évite l'exposition des salariés. Dans Seirich, les déterminants comme l'état physique, la protection collective et le temps d'exposition sont pris en compte pour calculer le risque même en présence d'un procédé clos alors qu'ils ne vont pas influencer l'exposition (considérée nulle). Le niveau de risque généré par Seirich surestime le risque réel pour ces situations.

- Mauvaise prise en compte du scénario « pas de contact » pour la voie cutanée

La quantité de produit est utilisée par Seirich pour attribuer un score pour le risque par voie cutanée, même dans les cas où la situation indique une absence de contact. Or l'absence de contact cutané limite l'exposition et la quantité aura une influence moindre dans ce contexte.

- Absence de prise en compte des risques liés à l'utilisation de produits multiples

Seirich a été développé pour évaluer les risques liés à l'utilisation d'un produit lors d'une tâche, mais n'évalue pas le risque qui peut être engendré lors de l'utilisation de multiples produits lors d'une même tâche (polyexposition). L'obligation de la prise en compte des de la polyexposition par l'employeur a été affichée clairement dans le Code du travail suite aux

évolutions réglementaires liées à la loi du 2 août 2021¹⁰ pour renforcer la prévention en santé au travail. En France, le Plan Santé au Travail 2016-2020 (61), souligne le défi scientifique et réglementaire et le besoin d'actions spécifiques pour l'amélioration de la prise en compte des effets liés à la polyexposition. Ceci constitue un manque dans Seirich qui évalue le risque des produits séparément.

I.3. Comparaison de Seirich avec d'autres outils disponibles à l'étranger

I.3.1. Comparaison des paramètres d'entrée utilisés dans Seirich avec d'autres outils disponibles à l'étranger

I.3.1.1. Matériel et méthode

Les outils choisis pour la comparaison devaient respecter les critères :

- Outils d'évaluation du risque chimique,
- Développés dans d'autres pays, et non basés sur la méthodologie française de hiérarchisation proposée en 2000 (ND 2233),
- Déployés pour aider les entreprises (simplicité d'utilisation),
- Disponibilités des informations sur les paramètres utilisés dans les algorithmes.

Au final, les outils retenus sont COSHH Essentials, Chemical control toolkit, Target Risk Assessment (TRA), Stoffenmanager, Stoffenmanager Nano (62), et Nanosafer (63). La plupart ont été présentés dans l'introduction. La comparaison entre Seirich et ces outils a porté sur les paramètres d'entrée utilisés pour évaluer le risque.

I.3.1.2. Résultats

Le premier constat issu de cette analyse concerne le sujet même sur lequel est effectuée l'évaluation des risques : tous les outils décrits s'intéressent aux substances chimiques, alors que Seirich s'intéresse au produit commercialisé (lui-même constitué de plusieurs de substances). Ceci est dû au fait que les concepteurs de Seirich avaient comme objectif de rendre cet outil le plus opérationnel possible et facile d'utilisation : les produits sont référencés dans l'entreprise et disposent d'une fiche de données de sécurité directement utilisable, alors que pour les substances, cela nécessite une recherche plus approfondie de la

¹⁰ Loi du 2 août 2021 pour renforcer la prévention en santé au travail

composition des produits. Par ailleurs, dans l'entreprise, il est plus aisé d'agir sur l'achat des produits que sur leur composition pour établir le plan d'action.

A l'exception de l'outil TRA, tous les autres outils (COSHH Essentials, Stoffenmanager, Stoffenmanager Nano, Nanosafer) évaluent le danger en reposant sur les mentions de danger du CLP ou du système général harmonisé (Chemical control toolkit). Le tableau 1 représente les paramètres d'entrée utilisés pour estimer les expositions pour chacun des 6 outils et Seirich.

TABLEAU 1. PARAMETRES D'EXPOSITION UTILISES PAR LES OUTILS D'EVALUATION DU RISQUE COSHH, CHEMICAL CONTROL TOOLKIT, TRA, STOFFENMANAGER (ET NANO), NANOSAFAER, ET SEIRICH

<i>Paramètres</i>	COSHH	Chemical control toolkit	TRA	Stoffenmanager	Stoffenmanager Nano	Nano-safer	Seirich
Etat physique	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Volatilité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Pulvérulence	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Forme et taille des particules	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
Solubilité et coefficient de partage	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
Réactivité de surface	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
Degrés d'agglomération	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
Biodisponibilité	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
Procédé ou activité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui, moins détaillé
Fréquence d'utilisation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Quantité journalière	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Procédé dispersif seulement
Distance source-travailleur	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui, moins détaillé
Taux d'émission	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Equipement protection collective	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Equipement de protection respiratoire	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Volume et surface de la pièce	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non

Les outils COSHH Essentials, Chemical control toolkit, et TRA utilisent 3 types de paramètres : les propriétés physiques des substances (volatilité pour les liquides ou pulvérulence pour les poudres), les conditions de mise en œuvre et les mesures de protection mises en place. L'outil Stoffenmanager considère, en plus, la distance entre la source et les travailleurs, et le taux d'émission des substances. Les deux outils d'évaluation du risque lié aux nanomatériaux (Stoffenmanager Nano et NanoSafer) utilisent, pour décrire la substance, des paramètres beaucoup plus détaillés que les autres outils : la forme et taille des particules, la solubilité, le coefficient de partage, la réactivité de surface, le degrés d'agglomération, la biodisponibilité, sont par exemple pris en considération.

Concernant les paramètres d'entrée en lien avec l'exposition, les différences sont présentées ci-après :

- Le paramètre « procédé » est le plus souvent décrit dans Seirich par 4 grandes catégories peu détaillées : dispersif, ouvert, clos mais ouvert régulièrement et clos. Les autres outils utilisent plus systématiquement le référentiel REACH des procédés (PROC) qui fournit des informations plus détaillées sur l'activité.
- C'est également le cas de la notion de l'éloignement pour laquelle Seirich ne fournit pas d'information détaillée : il ne laisse que le seul choix « Eloignement du salarié par rapport à la source d'émission : oui/non », ne donne aucune indication sur la distance d'éloignement et ne permet pas de prendre en compte la présence d'une éventuelle ventilation générale mécanique en même temps (voir section précédente). Dans les autres outils, les informations sur l'éloignement et la ventilation sont données de manière séparée.
- Le paramètre « fréquence d'utilisation » est utilisé par l'ensemble des outils mais pas par Seirich qui ne s'intéresse qu'au risque lié à l'exécution d'une tâche de travail et pas au risque lié à l'activité professionnelle dans son ensemble.
- Le paramètre « quantité journalière » est pris en compte pour tous types de procédés par l'ensemble des outils alors que Seirich le considère uniquement lors d'un procédé dispersif, estimant que pour les autres types de procédés (ouvert, clos mais ouvert régulièrement), seule la surface de contact avec l'air influe sur l'exposition et non la quantité utilisée.

- Enfin, Seirich, tout comme COSHH Essentials, Chemical control toolkit, TRA et Stoffenmanager, ne prend pas différemment en compte les poudres nanométriques (incluses dans poudres fines) alors que d'autres outils sont spécifiquement développés pour ces formes (Stoffenmanager Nano et NanoSafer).

1.3.2. Comparaison des évaluations de Seirich à l'outil TREXMO

Dans le cadre d'une collaboration avec Unisanté (Lausanne, Suisse), les résultats de l'évaluation de l'exposition de Seirich sur les 88 situations de travail de la matrice ont été comparés à ceux du logiciel TREXMO (TRAnslation of EXposure MOdels) 64), développé par Unisanté et qui combine les résultats d'évaluation de l'exposition de différents outils (ART, Stoffenmanager, ECETOC TRA, EMKG-EXPO-TOOL (65), EASE (66) et MEASE (67)) pour une situation de travail. Les résultats de cette comparaison ont montré une incohérence totale entre les différents outils et Seirich, pour différentes raisons. Ainsi, les résultats de ce travail n'ont pas été pris en compte pour identifier les limites de Seirich. La méthode, les résultats ainsi que les raisons des incohérences identifiées sont expliqués dans l'annexe 5.

II. Synthèse des limites identifiées

Au total, 14 limites ont été identifiées. Elles sont présentées dans le Tableau 2.

TABLEAU 2. LISTE DES LIMITES IDENTIFIEES DANS SEIRICH A PARTIR DE LA COMPARAISON AVEC LA MATRICE DE RISQUE ISSUE DE L'EXPERTISE, LES RETOURS D'UTILISATEURS ET LA COMPARAISON AVEC LES AUTRES OUTILS D'EVALUATION DES RISQUES EN ENTREPRISE EXISTANT DANS D'AUTRES PAYS.

<i>Id</i>	<i>Limites</i>	<i>Retours utilisateurs</i>	<i>Seirich-expertise</i>	<i>Seirich-autres outils</i>
A	Mauvaise prise en compte des dangers des produits solides non classés par le CLP pour la santé	×		
B	Mauvaise prise en compte du procédé « clos » pour l'inhalation	×		
C	Mauvaise prise en compte du scénario « pas de contact » pour la voie cutanée	×		
D	Mauvaise prise en compte de la manipulation de faibles quantités de produits sous le procédé dispersif	×		
E	Différence de perception des scores de danger des agents chimiques émis		×	
F	Différence de perception du danger des produits classés EUH208, H334 et H351 par le CLP		×	
G	Différence de perception de la performance des différents captages		×	
H	Absence de prise en compte de la fréquence d'utilisation	×		×
I	Absence de prise en compte du volume et la surface de la zone de travail		×	×
J	Niveau de détail insuffisant dans la description des procédés et des modes d'utilisations des produits			×
K	Mauvaise prise en compte de la notion d'éloignement du salarié de la source d'émission			×
L	Absence de prise en compte des risques directement liés aux substances			×
M	Absence de prise en compte des nanoparticules			×
N	Absence de prise en compte des risques liés à l'utilisation de produits multiples	×		

III. Choix des limites pour lesquelles des améliorations seront proposées

III.1. Matériel et méthodes

Quatre limites ont été écartées d'emblée pour des raisons de positionnement stratégique de l'INRS par rapport à l'outil Seirich dans le paysage de la prévention en France.

Limite (L) : Non prise en compte des risques directement liés aux substances

Seirich a été conçu dans le but d'aider les entreprises à évaluer le risque chimique lié aux produits qu'ils utilisent et non à chaque substance qu'ils contiennent. La finalité étant d'établir un plan d'actions opérationnel. Par exemple, un produit (mélange de substances) jugé à risque très élevé doit être substitué par un autre présentant moins de risque. De plus, une évaluation au niveau de la substance nécessiterait de demander à l'utilisateur de saisir des informations plus difficile à obtenir, ce qui peut s'avérer complexe, quant à la disponibilité des données et à leur saisie dans le logiciel.

Limite (N) : Non prise en compte des risques liés à l'utilisation de produits multiples

Seirich a été développé pour évaluer les risques liés à l'utilisation d'un produit lors d'une tâche et non l'utilisation de plusieurs produits lors d'une tâche. Malgré le fait que ce soit un manque de Seirich, l'INRS ne souhaite pas pour autant le développer dans cette direction car l'institut met à disposition un autre outil dédié à l'évaluation de la polyexposition : Mixie (68). Cet outil permet de visualiser les classes d'effet communes aux substances étudiées qui exposent les opérateurs lors d'une tâche de travail identifiée. Une passerelle entre les deux outils est cependant en réflexion afin de faciliter le passage de l'un à l'autre.

Limites (E et F) : Définition des niveaux de danger

Ces limites, concernant les scores de danger des agents chimiques émis et des mentions EUH208, H334 et H351, ont été également écartées. En effet, elles ne concernent pas les algorithmes d'évaluation de Seirich mais uniquement un changement de score d'un paramètre déjà existant.

Les 10 limites restantes ont été soumises à des critères de pertinence et de faisabilité tels que présenté dans le tableau 3.

TABLEAU 3. CRITERES DE SELECTION DES POINTS D'AMELIORATION IDENTIFIES.

Catégorie	Critère (note)	Explication	Poids
Critères de pertinence	La nature de la solution à proposer : <ul style="list-style-type: none"> - <i>Correction (1)</i> - <i>Amélioration (0.5)</i> - <i>Nouveauté (0)</i> 	Les solutions correctives sont prioritaires par rapport aux améliorations ou nouveautés, car l'objectif initial de ce travail est de corriger les limites des algorithmes de Seirich. Les améliorations et les nouveautés viennent en complément de cet objectif.	3/10
	Niveau d'impact sur les actions de prévention : <ul style="list-style-type: none"> - <i>Fort (1)</i> - <i>Moyen (0.5)</i> - <i>Faible (0)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Fort : la solution proposée impacte, de manière visible par l'utilisateur, le niveau de risque généré et permet de créer une action de prévention à la fin de l'évaluation. - Moyen : la solution proposée impacte, de manière visible par l'utilisateur, le niveau de risque généré ou permet de créer une action de prévention à la fin de l'évaluation. - Faible : Pas d'impact visible 	7/10
Critères de faisabilité	Complexité des informations à demander à l'utilisateur : <ul style="list-style-type: none"> - <i>Oui (0)</i> - <i>Non (1)</i> 	Respect des contraintes liées au public-cible de Seirich, qui ne sont pas nécessairement des experts (ex. facilité d'accès à une information additionnelle)	3/10
	Complexité à trouver une solution : <ul style="list-style-type: none"> - <i>Fort (0)</i> - <i>Moyen (0.5)</i> - <i>Faible (1)</i> 	Le niveau de complexité pour concevoir une solution algorithmique,	4/10
	Complexité de l'implémentation informatique de la solution dans Seirich : <ul style="list-style-type: none"> - <i>Fort (0)</i> - <i>Moyen (0.5)</i> - <i>Faible (1)</i> 	Le niveau de complexité pour développer la solution algorithmique dans Seirich	3/10

Le poids de chaque critère est établi en fonction de l'importance donnée à chacun parmi l'ensemble. Pour les critères de pertinence, la question de l'impact sur la prévention est plus importante que celle du type de solution à proposer. Pour les critères de faisabilité, les poids attribués aux différentes modalités sont quasiment équivalentes, avec une note légèrement plus élevée pour la complexité de la solution.

Une note est attribuée à chaque modalité de critère, et est ensuite pondérée par le poids proposé, générant ainsi un score pour la proposition d'amélioration. Les limites ont été réparties dans une matrice de décision selon leurs scores totaux de faisabilité et de pertinence. Le tableau 4 présente le détail de calcul de ces scores.

TABEAU 4. CALCUL DES SCORES DES IMITES IDENTIFIEES SELON LES CRITERES DE SELECTION

	Critères de pertinence		Résultat	Critères de faisabilité			Résultat
	Correction/ amélioration/ nouveau [1 / 0,5 / 0]	Impact sur les actions de prévention [Faible=0/ Moyen=0,5 / Fort=1]		complexité des informations à demander à l'utilisateur [oui=0 / non=1]	Complexité à trouver une solution algorithmique [complexe=0 / moyen=0,5 / facile=1]	Complexité de l'implémentation de la solution dans Seirich [complexe=0 / moyen=0,5 / facile=1]	
	3/10	7/10		3/10	4/10	3/10	
A	1	1	10	0	0,5	1	5
M	0,5	0,5	5	0	0,5	1	5
D	1	0,5	6,5	1	0	1	6
G	1	0,5	6,5	1	0	1	6
J	0,5	0	1,5	0	0,5	0,5	3,5
H	0	1	7	0	0	0,5	1,5
K	0,5	0,5	5	0	0,5	1	5
I	0	0,5	3,5	0	0	0,5	1,5
B	1	0,5	6,5	1	1	1	10
C	1	0,5	6,5	1	1	1	10

III.2. Résultats

III.2.1. Matrice de décision

La figure 10 représente la matrice de décision pour le choix des limites à considérer selon les critères de pertinence (en abscisse) et de faisabilité (en ordonnée).

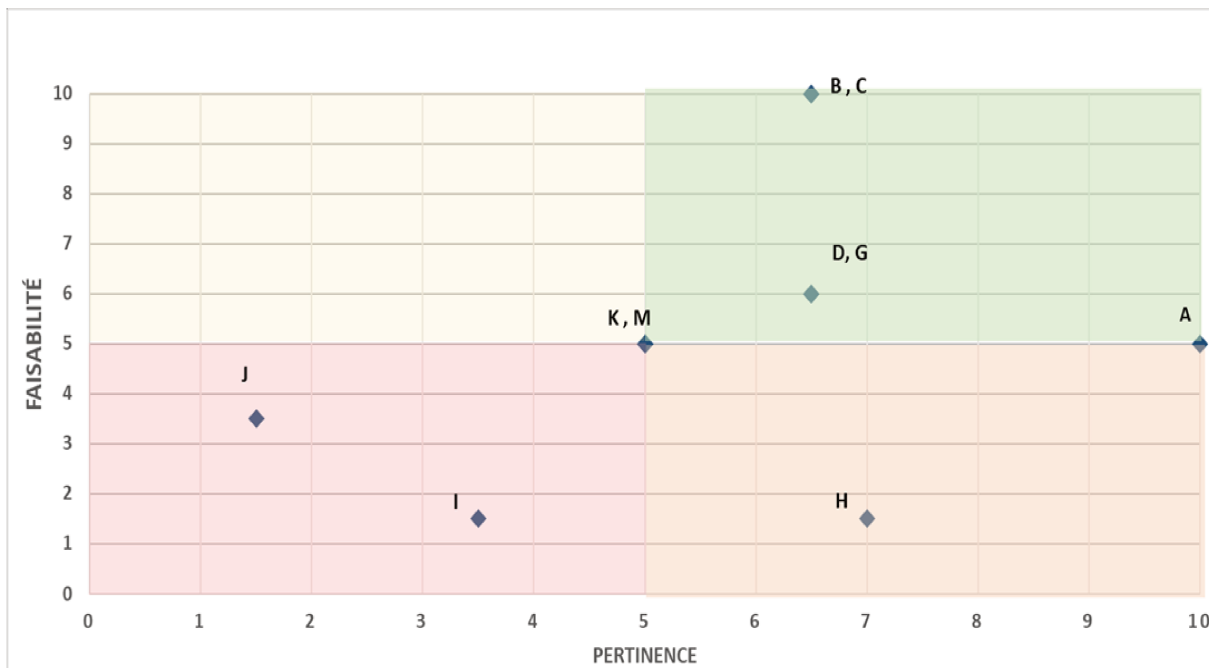


FIGURE 10. MATRICE DE DECISION POUR LE CHOIX DES LIMITES DE SEIRICH A CONSIDERER.

LA PARTIE EN VERT CONCERNE LES LIMITES LES PLUS PERTINENTES ET FAISABLES, LA PARTIE ORANGE CONCERNE LES PLUS PERTINENTES MAIS MOINS FAISABLES, LA PARTIE JAUNE LES PLUS FAISABLES MAIS MOINS PERTINENTES, ET LA PARTIE ROUGE CELLES QUI NE SONT NI PERTINENTES NI FAISABLES.

Ainsi, pour la suite du travail, les 7 limites qui ont été jugées les plus pertinentes et faisables sont retenues (partie verte du graphique) : B : mauvaise prise en compte du procédé « clos » pour l'inhalation, C : mauvaise prise en compte du scénario « pas de contact » pour la voie cutanée, D : mauvaise prise en compte de la manipulation de faibles quantités de produits sous le procédé dispersif, G : différence de perception de la performance des différents captages, A : mauvaise prise en compte des dangers des produits solides non classés par le CLP pour la santé, K : mauvaise prise en compte de la notion d'éloignement du salarié de la source d'émission, et M : absence de prise en compte des nanoparticules.

La limite H (pas de prise en compte de la fréquence d'utilisation), pertinente mais difficilement faisable, a été écartée : sa correction impliquerait un nouveau type d'évaluation au poste de travail qui ne s'aligne pas avec l'objectif de Seirich, i.e. évaluation du risque lors d'une tâche.

III.2.2. Solutions envisagées pour les limites retenues

Une solution algorithmique est proposée pour chacune des sept limites identifiées. Elles sont décrites dans cette section.

- Procédé « clos » pour l'inhalation (limite B)

Le procédé clos représente tout procédé entièrement fermé dont tout contact entre l'opérateur et le produit doit être évité. Les déterminants « protection collective », « temps d'exposition » et « état physique » étaient pris en compte dans le calcul du risque tel que présenté dans la figure 11A. La solution proposée dans la figure 11B, consiste à ne plus les prendre en compte : seul les scores de danger et de procédé seront considérés. De plus, une modification du score attribué à ce type de procédé est proposée pour que la situation la plus grave (danger maximal) résulte tout de même en un niveau de risque modéré (vert) du fait d'une exposition considérée négligeable.

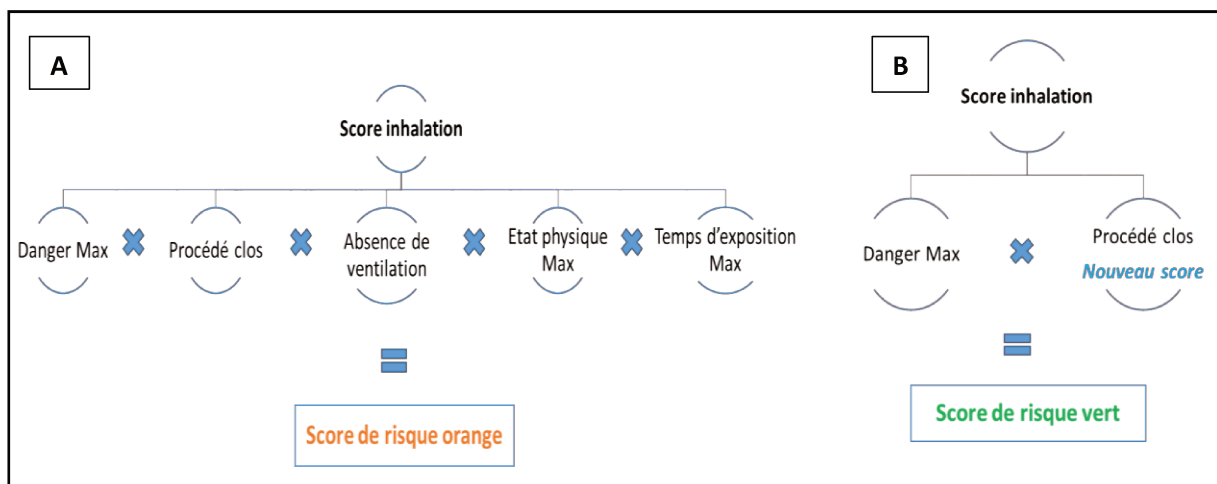


FIGURE 11. EVALUATION DU RISQUE DE SEIRICH D'UNE SITUATION METTANT EN ŒUVRE UN PROCÉDE CLOS. A) SITUATION ACTUELLE, B) PROPOSITION D'AMÉLIORATION.

- Scénario « pas de contact » pour la voie cutanée (limite C)

L'exposition par la voie cutanée étant moindre lorsqu'il n'y a pas de contact direct entre le produit et le travailleur, la solution proposée consiste à ne plus prendre en compte la quantité journalière pour estimer le risque par voie cutanée pour les effets systémiques (ce paramètre

n'est pas pris en compte pour les effets locaux). Aussi, la modification du score attribué à ce scénario pour les effets systémiques mais aussi pour les effets locaux est nécessaire pour que le risque soit considéré comme modéré (vert). La figure 12 présente la situation actuelle (A) la solution proposée (B) pour cette limite.

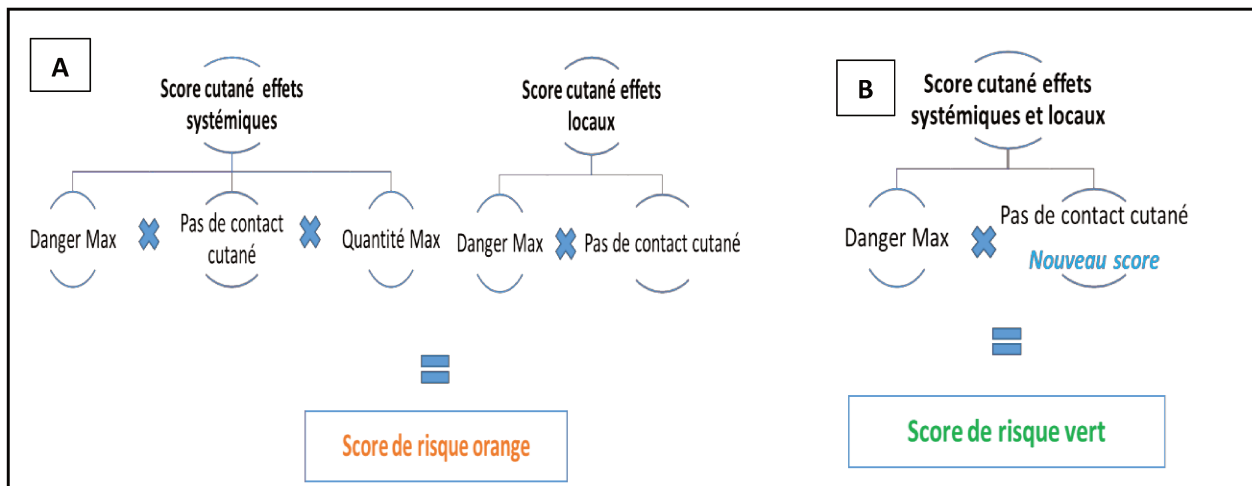


FIGURE 12. L'ÉVALUATION DU RISQUE DE SEIRICH POUR LE SCENARIO « PAS DE CONTACT CUTANÉ ».
A) SITUATION ACTUELLE, B) PROPOSITION D'AMÉLIORATION.

- Manipulation de faibles quantités de produits sous le procédé dispersif (limite D)

Le niveau de risque lié à la manipulation de faibles quantités de produits en cas de procédé dispersif devrait être toujours plus élevé que celui lié à la manipulation d'une même quantité en cas de procédé ouvert. Ce n'est pas le cas actuellement, cette limite est liée au fait que la variable « quantité » n'est prise en compte que pour le procédé dispersif. La solution consiste à modifier le score de quantité, en réduisant l'intervalle entre chaque modalité de ce paramètre. Cette modification engendre, en contrepartie, la diminution de l'importance de la quantité journalière dans l'algorithme de Seirich.

- Scores des différents captages (limite G)

Dans Seirich, les captages sont répartis en trois familles. La « sorbonne » qui englobe la sorbonne de laboratoire et le captage enveloppant, les « cabines » et les « captages hors cabines » comme la hotte, la fente d'aspiration, la table aspirante, le bras aspirant. Le regroupement de la sorbonne de laboratoire et du captage enveloppant est inapproprié. En effet, la sorbonne de laboratoire est un équipement particulier qui répond à des spécifications précises et normalisées (69) alors que le captage enveloppant peut être d'une conception plus

artisanale. Une différenciation entre les deux apparait nécessaire, avec une augmentation du score du captage enveloppant. De plus, les autres types de captages (cabines et captages hors cabines) possèdent le même score alors que les captages hors cabines ont un niveau d'efficacité moindre et très variable selon leur dimensionnement et leur mise en œuvre par rapport aux cabines. Enfin, la « cabine ventilée de petites dimensions » est moins performante que les autres types de cabines. La proposition est d'attribuer des scores légèrement différents entre les familles « captages hors cabines » et « cabines » en gardant le score actuel des cabines. Le score de la « cabine ventilée de petites dimensions » sera identique à celui des « captages hors cabines » (Tableau 5).

TABLEAU 5. LES DIFFERENTS TYPES DE CAPTAGES DANS SEIRICH, LEURS SCORES ACTUELS ET LA PROPOSITION DE CORRECTION.

<i>Type de captage*</i>	<i>Score actuel**</i>	<i>Proposition**</i>
Sorbonne de laboratoire	a	a
Captage enveloppant		a' (> a mais < b)
Cabine à flux horizontal	b	b
Cabine à flux vertical		
Cabine pressurisée à air épuré (CPAE)		
Hotte		b' (> b)
Fente d'aspiration		
Table aspirante		
Aspiration intégrée à l'outil		
Cabine ventilée de petites dimensions		

* *Les captages sont présentés de celui considéré le plus protecteur au moins protecteur.*

***Les scores actuels ainsi que ceux proposés sont confidentiels, ils sont remplacés par des lettres dans le tableau.*

- Prise en compte des poudres nanométriques (limite M)

Une poudre est considérée nanométrique quand il y a présence d'au moins 50 % de particules nanométriques dans le produit (70) (taille des particules élémentaires pouvant former des agrégats ou agglomérats inférieure à 100 µm). La pulvérulence d'une poudre nanométrique, c'est-à-dire sa capacité à se mettre en suspension dans l'air, est très importante et donc le risque généré via la manipulation de ces poudres doit être pris en compte. La solution

proposée est l'ajout d'un nouvel état physique « poudre nanométrique » auquel un nouveau score sera attribué (figure 13). Cette proposition nécessite de redistribuer les scores liés à ce paramètre, avec le score le plus élevé attribué aux poudres nanométriques.

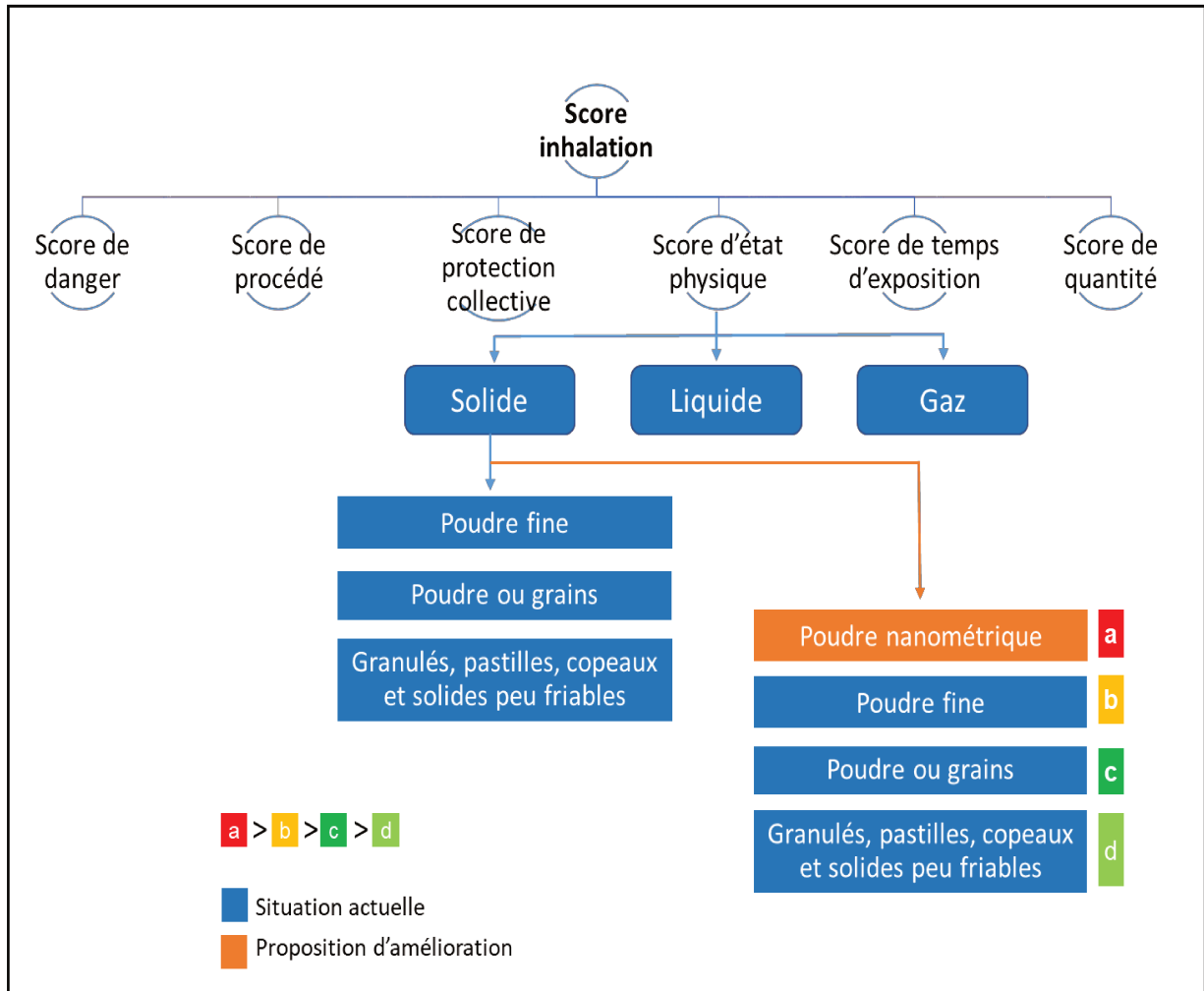


FIGURE 13. AMELIORATION PROPOSEE POUR LA PRISE EN COMPTE DES POUDRES NANOMETRIQUES

- Prise en compte des dangers des produits solides non classés par le CLP pour la santé (limite A)

Pour compenser l'absence de mention de danger pour la santé de ces produits, un score de danger attribué aux solides en fonction de leur granulométrie a été proposé. Le score le plus élevé est attribué aux poudres nanométriques, suivi par un score moins élevé aux poudres fines, et enfin un score plus faible pour les poudres ou grains et les solides peu friables suivant l'algorithme présenté dans la figure 14.

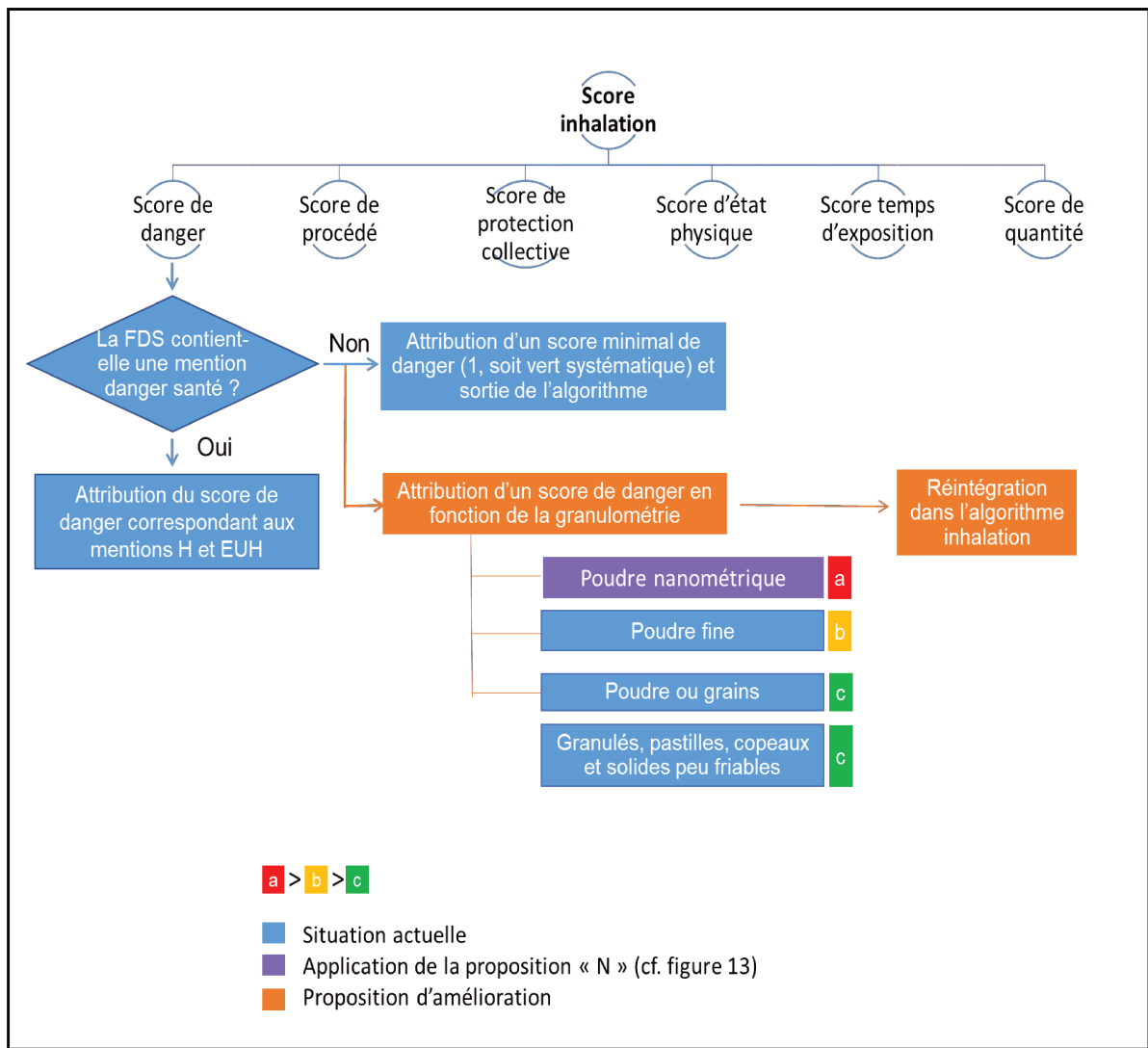


FIGURE 14. AMELIORATION PROPOSEE POUR L'EVALUATION DES DANGERS DES PRODUITS SOLIDES SANS MENTION DE DANGER POUR LA SANTE.

- Prise en compte de « champ proche/champ lointain » (limite K)

La prise en compte de la notion d'éloignement du salarié vis-à-vis de la source d'émission du polluant (notion de champ proche / champ lointain) n'est pas suffisamment claire actuellement. Elle est considérée dans les modalités du paramètre « ventilation générale » (Figure 15A). La solution proposée consiste à passer de 4 à 6 modalités pour affiner la description de l'activité avec les différents éléments influents : distance par rapport à l'émission, présence d'une ventilation générale mécanique et travail en intérieur ou en extérieur (figure 15B).

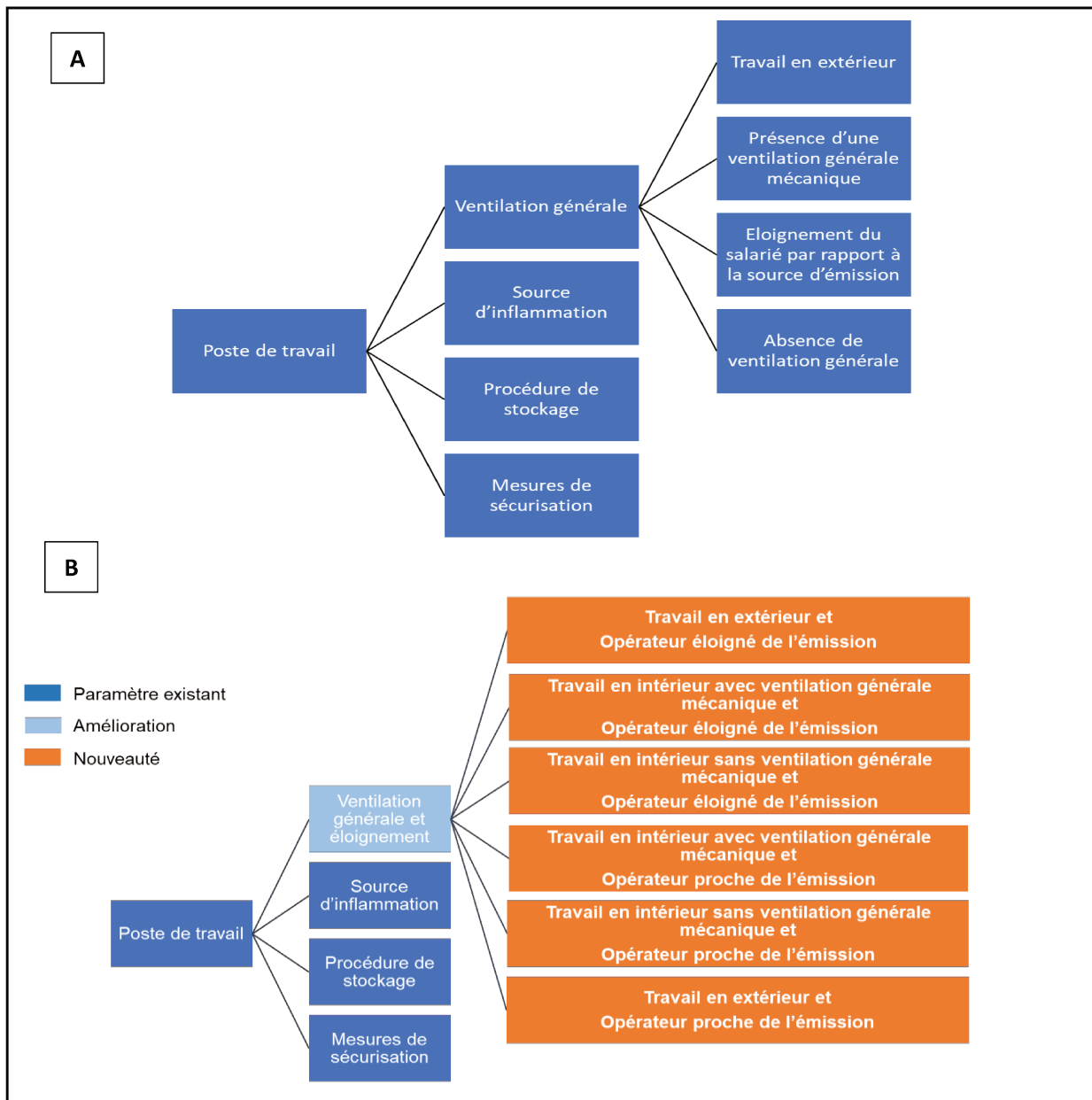


FIGURE 15. PRISE EN COMPTE DU PARAMETRE D'ÉLOIGNEMENT DANS LE LOGICIEL SEIRICH.

A) SITUATION ACTUELLE ; B) PROPOSITION D'AMÉLIORATION

CHAPITRE 5. ANALYSE D'IMPACT DES AMELIORATIO

I. Matériel et Méthode

Pour évaluer l'impact des propositions d'amélioration sur l'évaluation du risque de Seirich, un test sur des situations de travail réelles a été effectué. Ces situations ont été extraites d'inventaires de Seirich fournis volontairement par des entreprises dans le cadre de ce projet. Cette évaluation consiste en l'application de la solution proposée sur toutes les situations concernées, et l'évaluation de son impact sur le score et les niveaux de risque (modéré, élevé, très élevé). L'impact a été évalué en calculant le nombre de situations qui ont changé de score de risque (indicateur chiffré) sans changement de niveau (couleur), c'est-à-dire sans impact visuel pour les utilisateurs, et le nombre de situations qui ont changé de score de risque avec un impact visuel pour les utilisateurs (changement de couleur). L'analyse a été réalisée pour chacune des propositions prises une à une, puis de la même manière pour toutes les propositions appliquées à la fois.

I.1. Collecte d'inventaires

Avant le démarrage de cette thèse, et dans le cadre du projet global d'amélioration de Seirich, un appel à la collecte d'inventaires avait été lancé : les partenaires de Seirich ont été sollicités par l'INRS pour demander aux entreprises de fournir leurs inventaires de manière anonyme. Pour effectuer la collecte, une plateforme de recueil a été préparée par les responsables en charge du logiciel Seirich (Figure 16). Elle comprend une page d'accueil avec les explications du besoin, un questionnaire concernant l'entreprise et une autre page pour le chargement de l'inventaire. Cette collecte d'inventaires s'est étalée sur une période de 2 ans et deux mois (janvier 2019 à Mars 2021). Cent dix inventaires ont ainsi été collectés.

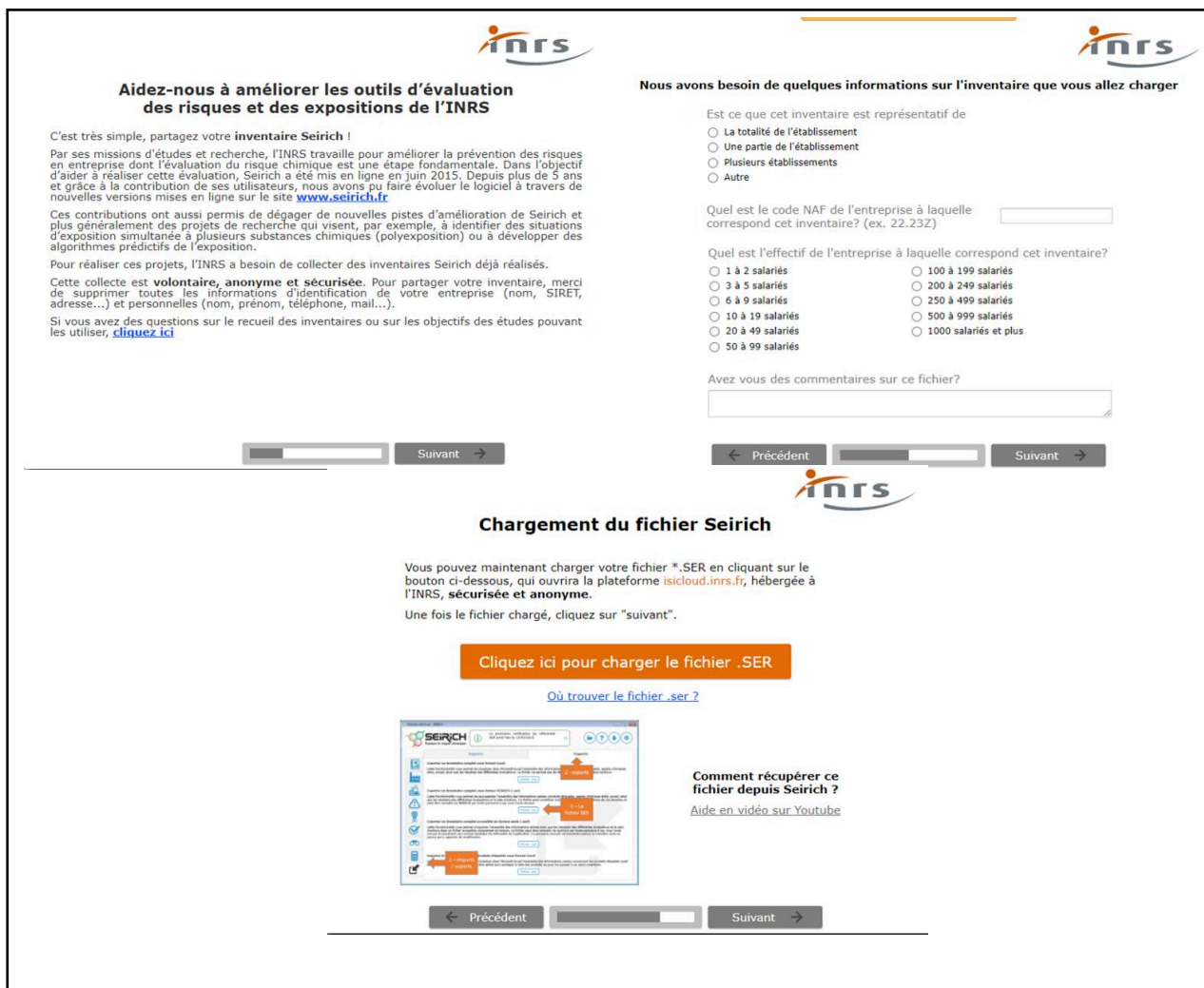


FIGURE 16. COPIES D'ÉCRAN DE LA PLATEFORME DE COLLECTE DES INVENTAIRES

I.2. Analyse descriptive des inventaires

Les 110 inventaires, des fichiers informatiques au format propriétaire du logiciel Seirich (*.ser), ont été convertis en fichier Excel par les responsables en charge du logiciel Seirich pour faciliter leur utilisation. Chaque fichier comporte un certain nombre de situations de travail. Au total, 10 048 situations de travail ont été recueillies. Ces situations de travail sont décrites par des informations sur le secteur d'activités de l'établissement (nomenclature d'activités française - NAF), le poste de travail, la tâche, les dangers et les déterminants d'exposition nécessaires au calcul du risque par Seirich. Le score attribué à chaque déterminant et les scores de risque pour les voies inhalée et cutanée/oculaire, sont également présents dans le fichier Excel. La figure 17 présente un extrait du fichier des inventaires.

NAF	etablissem ent	poste	tache	produit	agent_emis	procede	captage	ventilation	tension vapeur	etat physique	calcul tension vapeur	temperatur utilisation	quantite_jo ur_grammes	Scores Seirich
2223Z		1 SB-PVC-Débit	Collage	Etanche tube		dispersif	absence	absence	5,64652312	baseSolvant	modalite_ten	20	10.0	
2223Z		1 SB-PVC-Débit	Démoulage	VOS 500		dispersif	absence	absence		gaz				
2223Z		1 SB-PVC-Débit	Hydrofugation	Hydro spray		dispersif	absence	absence	0,4468594	baseAcqueuse	utilise_ebullit	20	100.0	
2223Z		2 OAV	Collage	SP350		dispersif	absence	absence	5,64652312	baseSolvant	modalite_ten	20	2000.0	
2223Z		3 SG-PVC-Pose	Collage	FA101		dispersif	absence	absence	5,64652312	baseSolvant	modalite_ten	20	2000.0	
2223Z		3 SG-PVC-Parac	Nettoyage	Nettoyant Rapide		dispersif	absence	absence	9,9999973	baseAcqueuse	utilise_ebullit	20	500.0	
2223Z		3 SG-PVC-Parac	Nettoyage	Solv'ip		dispersif	absence	absence	4,39999881	baseAcqueuse	utilise_ebullit	20	200.0	
2223Z		3 SG-PVC-Parac	Collage	FA101		dispersif	absence	absence	5,64652312	baseSolvant	modalite_ten	20	2000.0	
3320C		4 Entretien état	Désinfection	TYPHON		dispersif	absence	absence	13,47181	baseAcqueuse	modalite_ten	15	75.0	
2219		13 Moulage	Démoulage/Ebarbage		Fumées de vulcanisation du		absence	presence						
3832Z		14 TRAVAIL EN E	découpe plasma (N°12)		Fumées de coupage plasma		absence	exterieur						
3832Z		14 TRAVAIL EN E	découpe avec bouteille oxygène (N°12)		Fumées de coupage à la flamme		absence	exterieur						
2020Z		15 Contrôleurs e	Contrôle sur parking		Emissions des moteurs à combustion		absence	exterieur						
1623Z		16 Solivage	Préparation des triplys et solives		Poussières émises lors de la coupe	aspiration		exterieur						
7490B		17 Local Bois	Conditionner		Poussières émises lors de la coupe		absence	absence						
2812Z		18 CND - RX	Exécution des tir Radio		Gaz émis lors de la charge de la batterie		absence	presence						
2812Z		18 SOUDAGE OR	Soudage des pièces		Fumées de soudage à l'arc soudé		absence	presence						
2932Z		19 Emballage-Ex	Emballage-Expéditions		Poussières émises lors de la coupe			eloignement						
2408		20 Maintenance	Essai en marche		Emissions des moteurs à combustion			absence						
1813Z		21 Ensoleuse	Réticuler UV-C		Vapeurs émises lors de la mise en marche		absence	absence						
3320C		5 Petite soudur	Petite soudur	HEXANE FREE REMOVER		dispersif	absence	absence	11,5199969	baseAcqueuse	utilise_ebullit	20	0.01	
3320C		5 Petite soudur	Petite soudur	JELT 5111 - SUPER DEGRAISSANT		dispersif	absence	absence	208,82831	baseAcqueuse	utilise_ebullit	20	0.1	
2219		6 Petite Pesée (	Pesée Liquide	Disflamoll TKP		dispersif	table	presence	4,8957E-06	baseAcqueuse	utilise_ebullit	35	150000.0	
2219		6 Petite Pesée (	Pesée Liquide	Huile de Silicone 12500		dispersif	table	presence	0,02624683	baseSolvant	utilise_ebullit	35	200000.0	
2219		6 Petite Pesée (	Pesée Liquide	Strukto! AW 1		dispersif	table	presence	85,7553812	baseAcqueuse	modalite_ten	35	50000.0	
2219		6 BT Claire ou S	Chargement d	PROCESS OIL P460		dispersif	sorbonne	presence	0,01113839	baseSolvant	utilise_ebullit	35	300000.0	
2219		6 BT Claire ou S	Chargement d	Marlotherm SH		dispersif	sorbonne	presence	0,00293599	baseAcqueuse	utilise_ebullit	35	100000.0	
1729Z		7 Opérateur Fle	Impression d'	PRIME COATMATT TTR VARNISH		ouvert	absence	presence	0,01	baseAcqueuse	utilise_ebullit	20	1800.0	
1729Z		7 Opérateur Fle	Impression d'	Refresher Hydrofilm		ouvert	absence	presence	5,79999843	baseAcqueuse	utilise_ebullit	20	0.0	
1729Z		7 Opérateur Fle	Impression d'	UVOGLOW F PAN 806,4 KG		ouvert	absence	presence	0,01	baseSolvant	utilise_ebullit	20	0.0	
1729Z		7 Opérateur Fle	Impression d'	Vernis flexo UV base peel off		ouvert	absence	presence	9,9999973	baseSolvant	utilise_ebullit	20	0.0	
3020Z		8 DORRIES	Analyse des b	ECOCOOL MG 5		ouvert	absence	absence	0,00154444	baseAcqueuse	utilise_ebullit	20	500.0	
3020Z		8 Ressuage alés	Contrôle Alés	ARDROX 9 D 4 E		dispersif	absence	absence		gaz				
3020Z		8 Ressuage alés	Contrôle Alés	ARDROX 907 PB		dispersif	absence	absence	4,46829755	baseAcqueuse	modalite_ten	15	190.0	
3020Z		8 FORGE MECA	Recheche de	FLUORESCINE, DISODIUM SALT		dispersif	absence	absence		poudre				
3020Z		8 THERMICIEN	Enlèvement d	Produits en fibres Haceram		dispersif	absence	absence		solide				
3020Z		8 BOEHRINGER	maintenance	ECOCOOL MG 5		dispersif	absence	eloignement	0,00106	baseAcqueuse	utilise_ebullit	15	500.0	
3020Z		8 zone outillage	Protection ga	AEROSOL OLTEC DEGRIP 6		dispersif	absence	absence	85,7553812	baseAcqueuse	modalite_ten	35	185.0	
2561Z		9 Ligne de phos	Dégraissage	ALUCLEAN 250		ouvert	fente	presence	20,644691	baseAcqueuse	utilise_ebullit	60	1000.0	
2561Z		9 Ligne de phos	Dégraissage	POLICLEAN T01		ouvert	fente	presence	28,5143028	baseAcqueuse	modalite_ten	60	NaN	

FIGURE 17. EXTRAIT DU FICHER EXCEL VES SITUATIONS DE TRAVAIL ISSUS DES INVENTAIRES COLLECTES.
LES SCORES DES DETERMINANTS AINSI QUE CEUX DU RISQUE SONT MASQUES CAR CONFIDENTIELS.

Les secteurs d'activités les plus représentés par ces inventaires sont le commerce des produits chimiques (NAF : 4675Z) concernant 14,3 % des tâches, la fabrication d'autres articles en caoutchouc (NAF : 2219Z) (9 %), la construction de bateaux de plaisance (NAF : 3012Z) (8,4 %), la production d'électricité (NAF : 3511Z) (6,8 %), la fabrication de pesticides et d'autres produits agrochimiques (NAF : 2020Z) (6,3 %) et la fabrication d'autres équipements automobiles (NAF : 2932Z) (4 %). Après nettoyage des données (manquantes ou inutilisables pour l'évaluation), 9 895 situations de travail ont été utilisées pour l'évaluation de l'impact.

II. Résultats

II.1. Analyse d'impact de chaque amélioration

II.1.1. Amélioration de la prise en compte du procédé « clos » pour l'inhalation (limite B)

La suppression de la prise en compte des déterminants « protection collective », « temps d'exposition » et « état physique » pour les situations mettant en œuvre les produits dans des procédés clos a entraîné une diminution de scores pour 96 % de ces situations de travail (413 sur 428). En revanche, un impact visuel sur le niveau de risque (i.e. changement de couleur, passage d'un score orange à un score vert) a été observé pour 4 % de ces situations (figure 18). A noter que les utilisateurs n'ont pas d'accès aux scores de risques mais seulement au niveau représenté par les couleurs vert, orange, et rouge.

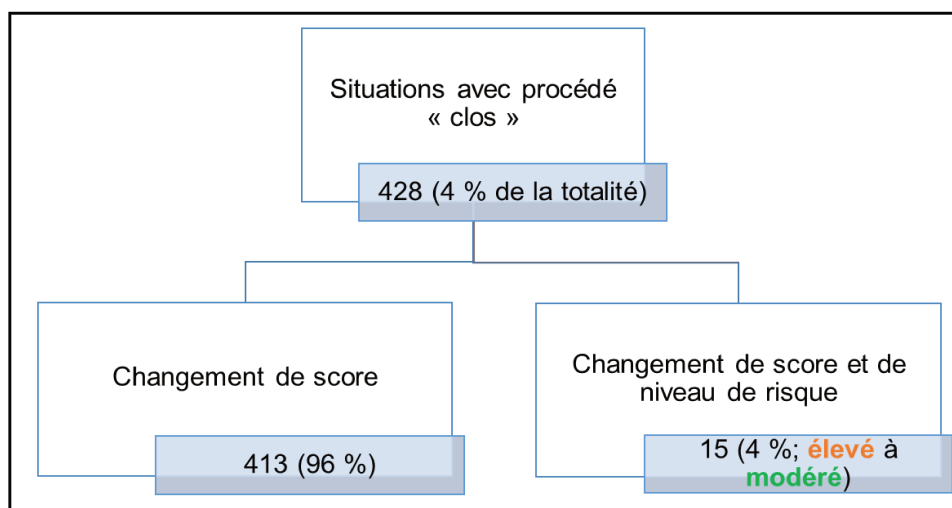


FIGURE 18. RESULTAT DU TEST DES CHANGEMENTS EFFECTUES POUR L'ÉVALUATION DU RISQUE POUR DES SITUATIONS METTANT EN ŒUVRE UN PROCEDE CLOS

II.I.2. Amélioration de la prise en compte du scénario « pas de contact » pour la voie cutanée (limite C)

Au total, on dénombre 330 situations mettant en œuvre des produits « sans contact cutané » parmi les 9895, dont 126 concernent des produits à « effets systémiques » et 204 concernent des produits à « effets locaux ». La suppression de la prise en compte de la quantité journalière pour les situations mettant en œuvre des produits « sans contact cutané » pour les produits à effets systémiques a entraîné une diminution de scores pour 99 % de ces situations de travail (124 sur 126). En revanche, un impact visuel sur le niveau de risque n'a été observé que pour 2 situations parmi les 126 (passage d'un score orange à un score vert (figure 19A)). Pour les produits à risques cutanés avec des effets locaux, 100 % des situations concernées (204) ont changé de score de risque. Cependant, aucun impact visuel sur le niveau de risque n'a été observé car les scores initiaux de ces situations sont très faibles (figure 19B).

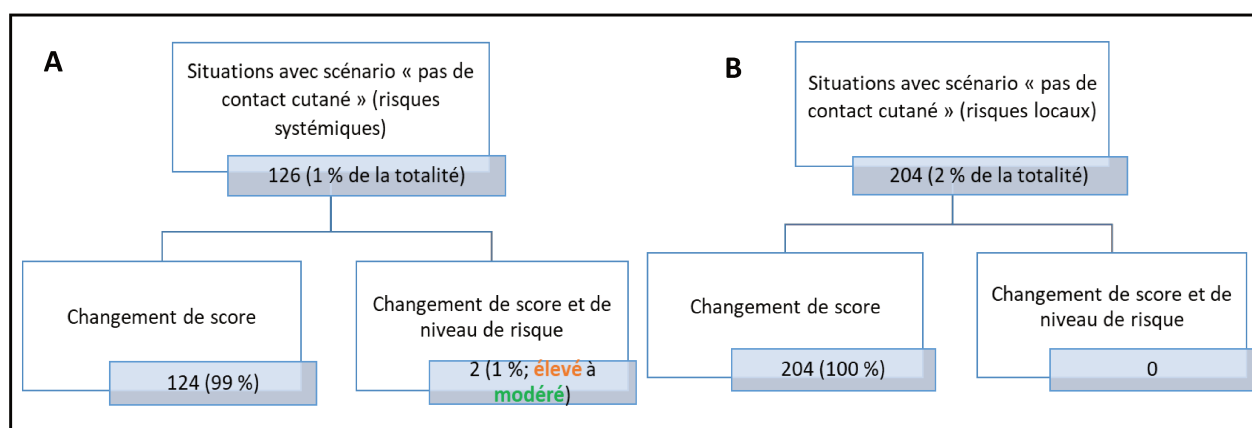


FIGURE 19. RESULTATS DU TEST DES CHANGEMENTS EFFECTUES POUR L'ÉVALUATION DU RISQUE LORS DU SCENARIO « PAS DE CONTACT CUTANE » : A) POUR LES EFFETS SYSTEMIQUES B) POUR LES EFFETS LOCAUX.

II.I.3. Amélioration de la manipulation de faibles quantités de produits sous le procédé dispersif (limite D)

Les situations de travail concernées par le test sont celles mettant en œuvre les produits via un procédé dispersif (1 693 sur 9 825). Les résultats du test d'impact ont montré que 82 % (1 393 sur 1 693) de ces situations de travail ont changé de score de risque et 18 % (300 sur 1

693) de ces situations ont subi un changement du niveau de risque entraînant un impact visuel pour l'utilisateur. Parmi ces 300 situations, 261 sont passées d'un niveau de risque élevé (orange) à très élevé (rouge) et 39 sont passées d'un niveau de risque modéré (vert) à un niveau élevé (orange) (figure 20).

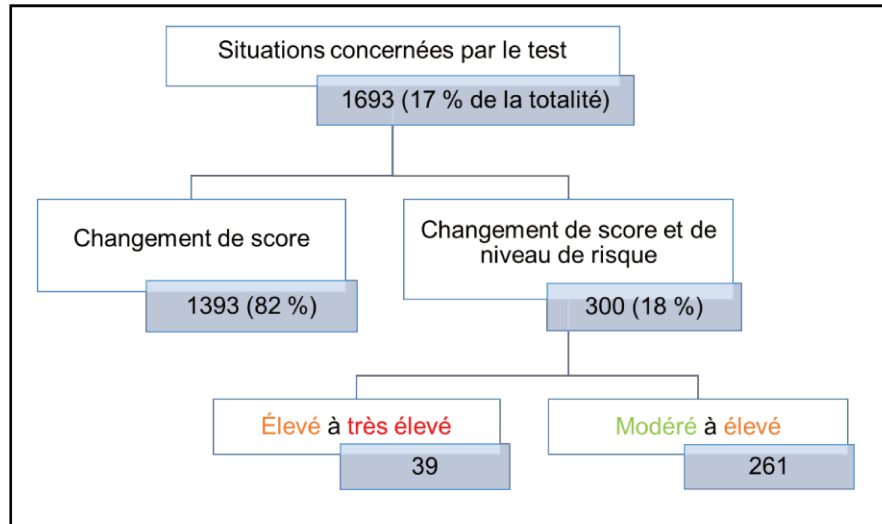


FIGURE 20. RESULTATS DU TEST D'IMPACT POUR L'AMELIORATION DE LA PRISE EN COMPTE DE LA MANIPULATION DE FAIBLES QUANTITES DE PRODUITS SOUS LE PROCEDURE DISPERSIF

II.1.4. Amélioration des scores de captages (limite G)

Le test d'impact pour cette proposition a été réalisé partiellement car, dans les inventaires collectés, la différenciation entre « sorbonne de laboratoire » et « captage enveloppant » ne peut pas être faite. Les résultats d'impact concernent la modification de score pour les captages hors cabines. Les situations concernées sont au nombre de 899 sur 9 825. Le résultat de ce test (figure 21) montre que 74 % (661 sur 899) de ces situations ont changé de score de risque et 26 % (238 sur 899) d'entre elles ont changé de niveau de risque. Parmi ces dernières, 21 sont passées d'un niveau de risque élevé (orange) à très élevé (rouge) et 217 d'un niveau de risque modéré (vert) à élevé (orange).

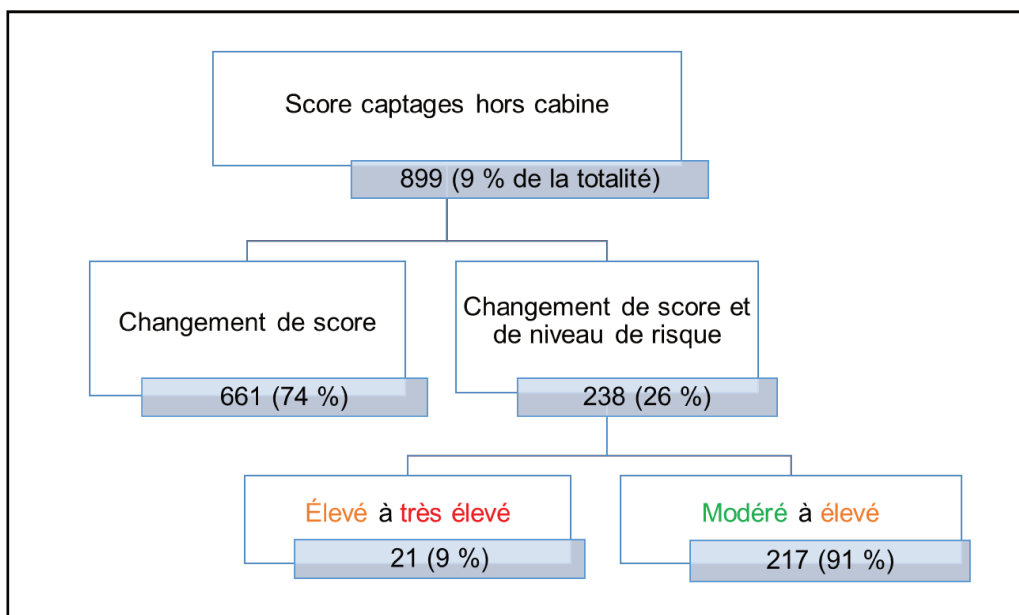


FIGURE 21. RESULTAT D'IMPACT DE MODIFICATION DES SCORES DES CAPTAGES HORS CABINES

II.1.5. Amélioration de la prise en compte des poudres nanométriques (limite M)

Le test d'impact de cette proposition a été réalisé partiellement : seul le changement de score des poudres fines a été testé, car les poudres nanométriques ne sont pas identifiées dans les inventaires collectés. Comme le montre la figure 22, parmi les situations de travail concernées par le test, 99 % (335 sur 337) ont changé de score de risque et seulement 2 situations ont changé de niveau de risque, passant d'un niveau élevé (orange) à modéré (vert).

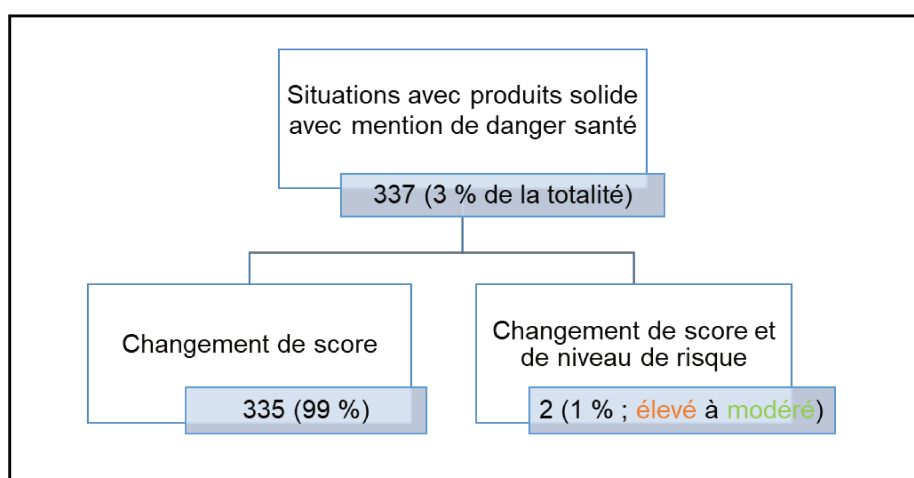


FIGURE 22. RESULTATS DE TEST D'IMPACT POUR LA PRISE EN COMPTE DES POUDES NANOMETRIQUES. TEST REALISE UNIQUEMENT POUR LE CHANGEMENT DE SCORE DE LA MODALITE « POUFRE FINE »

II.1.6. Amélioration de la prise en compte des dangers des produits solides non classés par le CLP pour la santé (limite A)

Le test d'impact de cette proposition a été réalisé sur 783 situations de travail (figure 23). Les résultats ont montré que 85 % des situations (663 sur 783) ont changé de score de risque alors que seulement 15 % (120 sur 783) ont changé de niveau de risque, passant d'un niveau de risque modéré (vert) à un niveau élevé (orange).

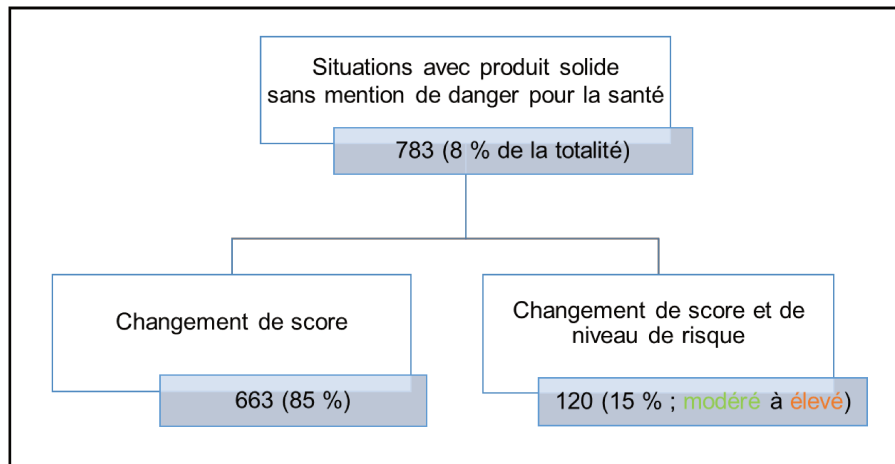


FIGURE 23. RESULTAT DU TEST D'IMPACT POUR LA PROPOSITION D'AMELIORATION DE LA PRISE EN COMPTE DES DANGERS DES PRODUITS SOLIDES NON CLASSES PAR LE CLP POUR LA SANTE

II.1.7. Amélioration de la prise en compte de la notion « champ proche/champ lointain » (limite K)

Le test d'impact de cette proposition a été réalisé avec une méthode différente. Comme il n'y a pas d'information systématique sur la notion d'éloignement et de ventilation dans les inventaires collectés, il a été indispensable de tester ce paramètre par échantillonnage : les situations de travail ont été parcourues pour identifier celles pour lesquelles il était évident de déterminer si l'opérateur est loin (au-delà d'un mètre) ou proche de la source d'émission (moins d'un mètre) et sans aucun captage à la source. Les situations de travail pour lesquelles la détermination de la notion d'éloignement était difficile ou douteuse ont été volontairement écartées. La figure 24 montre les résultats de l'analyse pour un échantillon de 667 situations de travail : 17 % de cet échantillon (114 sur 667) ont changé de score de risque et 5 % ont changé de niveau de risque, passant d'un niveau élevé (orange) à modéré (vert).

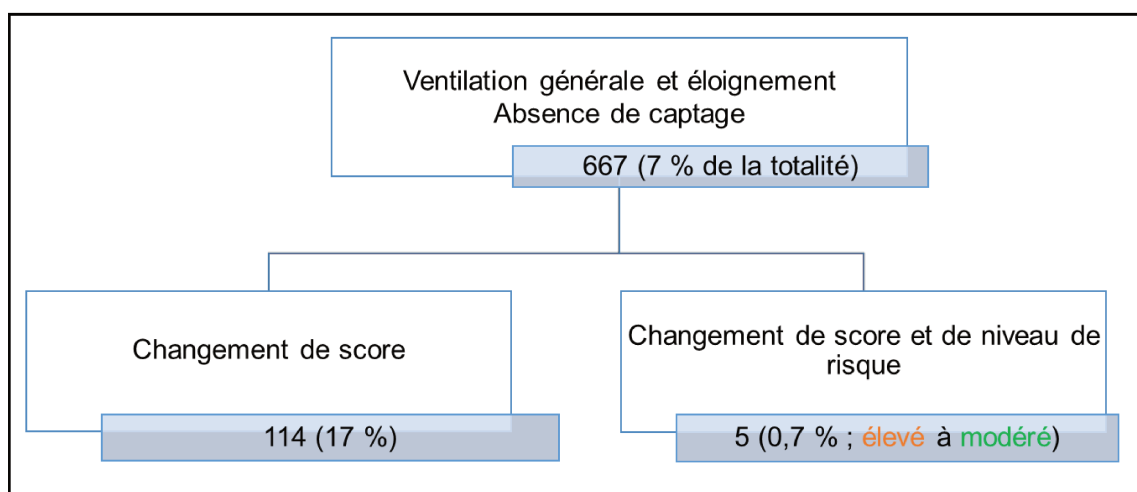


FIGURE 24. RESULTATS DU TEST D'IMPACT SUR UN ECHANTILLON DE 667 SITUATIONS POUR LA PROPOSITION D'UNE MEILLEURE PRISE EN COMPTE DE LA NOTION « CHAMP PROCHE/CHAMP LOINTAIN ».

II.2. Analyse d'impact de la combinaison de toutes les améliorations

L'impact de l'ensemble des propositions d'amélioration a été évalué sur 9 695 situations de travail. Sur 4 905 (50,5 %) situations ayant changé de score de risque, 11,6 % (n=1 066) se sont accompagnés d'une modification pour les utilisateurs (changement de niveau de risque représenté par une couleur). La proposition d'amélioration de l'algorithme d'évaluation des solides sans mention de danger pour la santé a une influence notable sur les niveaux de risque (15 % des situations testées). La proposition « meilleure prise en compte de la notion champ proche/champ lointain » n'a pas été incluse dans l'évaluation de l'impact global des propositions puisque le test de son impact a été effectuée par échantillonnage. Le tableau 6 représente la répartition des changements des niveaux de risque selon le sens de changement.

TABLEAU 6. REPARTITION DES CHANGEMENTS DES NIVEAUX DE RISQUE SELON LE SENS DE CHANGEMENT

<i>Sens du changement</i>	<i>Répartition des changements (% sur la totalité des situations)</i>
Modéré -> élevé	8,26 (n=801)
Modéré -> très élevé	1,5 (n=142)
Élevé -> très élevé	1 (n=102)
Élevé -> modéré	0,7 (n=67)
Très élevé -> élevé	0,1 (n=11)
Très élevé -> modéré	0,04 (n=4)

Les changements les plus importants (8,26 % de la totalité des situations) vont du sens modéré à élevé, ils concernent la combinaison des améliorations suivantes : la prise en compte des poudres non classées par le règlement CLP, la modification des scores de captages (familles captages hors cabines) et la correction de la discontinuité du procédé dispersif pour les petites quantités. Le pourcentage du changement de modéré à très élevé (1,5 %) n'est pas négligeable : il est lié surtout à la prise en compte du danger des produits en poudre non classés par le CLP. Ces deux changements permettent de montrer aux partenaires Seirich et surtout aux utilisateurs l'importance de la prise en compte de ces dangers ignorés auparavant. Les changements de niveau de risque les moins importants (0,04 % de la totalité des situations) vont du sens très élevé à modéré. Ils concernent les scores de captages hors cabines.

Généralement, les pourcentages liés aux changements de niveau de risque permettent de souligner la pertinence des améliorations proposées, du fait qu'elles ont permis d'ajuster la méthodologie actuelle de Seirich, qui s'est avérée, pour certains aspects, incomplète ou imprécise.

CHAPITRE 6. DISCUSSION GENERALE

I. L'originalité de la méthode employée

I.1. Comparaison de l'outil Seirich à des données de références

La matrice des situations de travail a été utilisée comme base de comparaison pour confronter un modèle d'évaluation de risque (Seirich) à des données de la réalité (jugement d'experts). Le principe de comparaison d'un modèle à des données de référence dans le but de tester sa fiabilité ou sa robustesse a déjà fait l'objet de travaux de recherche (71,72). Par exemple, Zare Sakhvidi et al, 2014 (73) ont testé la fiabilité de l'évaluation de l'exposition du modèle MEASE (outils d'évaluation de l'exposition liée aux métaux) et celle issue du jugement d'experts en comparant leurs résultats d'estimation de l'exposition à des données quantitatives de prélèvement d'air. Leurs résultats ont montré la bonne fiabilité de l'évaluation des experts par rapport au modèle MEASE. L'élicitation d'experts, c'est-à-dire l'action d'assister un expert à expliciter ses connaissances tacites, est une démarche qui est de plus en plus utilisée, y compris pour répondre à des questions sur les substances chimiques. Elle a par exemple été retenue pour proposer une méthodologie d'évaluation du caractère perturbateur endocrinien des substances chimiques (74) et pour l'évaluation des risques dans le domaine de l'alimentation (l'autorité européenne de sécurité des aliments (Efsa) a par exemple publié un document guide en 2014 sur cette question (75)). La méthode de Delphes utilisée ici permet ainsi d'intégrer la réalité du terrain en faisant intervenir l'expérience humaine. Par ailleurs, dans cette étude, l'objectif n'était pas de rechercher un consensus mais plutôt d'obtenir des scores de risque plus robustes et plus fiables (faible variabilité pour la plupart des situations de travail, bonne reproductibilité).

Enfin, ce travail a permis d'identifier quelques limites du logiciel Seirich et des solutions ont été proposées pour le faire évoluer et le rendre plus robuste et en accord avec la réalité du terrain en terme d'évaluation de risque.

I.2. Analyse d'incertitude

L'incertitude fait l'objet de nombreuses définitions dépendant du domaine dans lequel elle est utilisée. Dans un contexte plus large de l'expertise scientifique, l'Anses avait défini l'incertitude comme « un manque ou une limite de connaissances disponibles pour évaluer une situation en vue d'une prise de décision ». En évaluation des risques, elle la définit comme étant « un processus ayant pour objectif d'identifier, décrire, quantifier et communiquer les incertitudes associées aux résultats » (76). La prise en compte de l'incertitude est devenue systématique pour tout travail scientifique car elle permet de caractériser l'impact de la nature des données d'entrée et la fiabilité de la méthodologie utilisée. La méthode d'analyse de l'incertitude peut être différente et le résultat peut être exprimé différemment selon la nature et le domaine de l'étude (77).

Ainsi, dans la matrice des situations de travail, les scores de risque établis par expertise ont été reliés à un niveau d'incertitude qui décrit et caractérise le niveau de disponibilité et de qualité des données d'entrée (la série de paramètres représentant la situation de travail) ainsi que le niveau de confiance accordé par les experts au score final de risque qu'ils ont attribué. Ce niveau d'incertitude a été également pris en compte dans la comparaison avec l'outil Seirich et dans les conclusions émises lors de ce travail.

I.3. Utilité de la méthodologie développée

La matrice des situations de travail a été publiée et peut être utilisée à plusieurs autres fins. Par exemple, elle peut être utile pour les entreprises françaises mais pas seulement, afin de déterminer facilement le niveau de risque pour des situations de travail similaires et hiérarchiser celles qui présentent le plus de risques. Elle peut également être utilisée dans des projets de recherche : par exemple, en tant que base de comparaison de différents outils d'évaluation des risques permettant de les évaluer et de mieux comprendre les différents comportements de ces outils et les incertitudes associées à chacun d'entre eux.

La méthodologie développée peut être utilisée pour améliorer d'autres outils ou d'autres algorithmes d'évaluation des risques. Elle a par exemple été adaptée, parallèlement à ce travail, au risque d'incendie et d'explosion dans le logiciel Seirich (Co-encadrement d'un stage de M2). Ainsi, une matrice de 23 situations de travail inspirées de tâches réelles pendant

lesquelles l'opérateur met en œuvre des produits chimiques a été conçue. Ces situations de travail ont été évaluées par un groupe de 9 experts en prévention des risques d'incendie et d'explosion. La même méthodologie a été déployée, et 9 propositions d'amélioration ont été faites. Ces propositions d'améliorations ont fait l'objet d'un rapport de stage de master 2¹¹. Ces propositions d'améliorations sont présentées dans l'annexe 6.

II. Les limites du travail

II.1. Le manque de représentativité dans les données utilisées

II.1.1. Dans la matrice des situations de travail

La matrice des situations de travail développée n'est pas représentative de tous les secteurs d'activité Français. Ceci est lié au fait que les secteurs représentés dans la matrice sont ceux qui rentrent dans le champs d'activité de l'INRS et des organismes sollicités dans le cadre de la collecte des données (services régionaux de prévention des Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail également) et donc font partie du régime général de la Sécurité sociale. Le secteur de l'agriculture n'est pas représenté dans la matrice des situations de travail, malgré le fait qu'il fasse partie des secteurs les plus fréquemment exposés au risque chimique (78).

De plus, parmi les secteurs représentés dans la matrice, certains sont plus représentés que d'autres, tels que les secteurs du bâtiment et de la construction (16 %), de l'automobile (11%) et de la métallurgie (11%). Ceci peut être lié au fait que, dans le cadre de leur agrément, les préventeurs des services régionaux de prévention des Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail choisissent des secteurs d'activités (BTP, automobile) où plusieurs types de risques sont présents, avec un taux de sinistralité élevé et pour lesquels des stratégies nationales ou régionales sont en place, afin de pouvoir établir une évaluation globale des risques.

¹¹ Chettou Hasnaa, Master de chimie Paris centre, parcours : Ingénierie Chimique. Amélioration des algorithmes d'évaluation du risque incendie/explosion du logiciel Seirich. Année 2020-2021.

II.1.2. Dans les inventaires collectés

La vérification de la représentativité des inventaires collectés n'a pas pu être faite car les données réelles sur les entreprises utilisatrices de Seirich ne sont pas disponibles, le logiciel étant en téléchargement et en utilisation libre. Actuellement, seulement le nombre des entreprises utilisant ce logiciel peut être estimé à 30 000 grâce aux données brutes de téléchargement. Ceci est lié au règlement général sur la protection des données (RGPD) mais aussi au choix de l'ensemble des partenaires de Seirich de ne disposer d'aucune information concernant les utilisateurs, notamment pour des questions de gestion des données, de confidentialité et de facilité de déploiement de l'outil. De ce fait, les 110 inventaires collectés volontairement ne peuvent pas être considérés comme représentatifs de la totalité de ces entreprises ni des secteurs d'activités concernés. En conséquence, l'évaluation de l'impact des modifications d'algorithmes proposées est indicative. Elle donne seulement un ordre de grandeur de l'ampleur et de la nature (hausse ou baisse des niveaux de risque) des changements.

II.2. La simplification paramétrique

II.2.1 L'absence d'utilisation des données d'expositions quantitatives

L'évaluation de l'exposition reposant sur des données qualitatives seulement peut constituer une limite dans le calcul du risque. Les études menées par Anthony Cox Jr et al. 2005 (79) et Moon et al. 2021 (80) comparant des résultats d'une évaluation qualitative et quantitative de risque a montré que l'évaluation qualitative est susceptible de sous évaluer ou surévaluer le risque réel ou d'être moins discriminant (attribution de niveaux similaires à des situations quantitativement différentes).

Un essai d'utilisation de données d'exposition quantitatives dans la matrice des situations de travail a été réalisé. Le principe a consisté à calculer, pour chaque situation de travail, un indice d'exposition à partir des mesures provenant de la base de données d'exposition Colchic¹² (81). Les étapes de calcul de cet indice ont été les suivantes :

¹² La base de données d'exposition Colchic rassemble plus d'un million de mesures d'exposition à plus de 700 agents chimiques et biologiques, effectuées par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (LIC) des Carsat/ Cramif et de l'INRS.

- Identification, dans Colchic, de la situation équivalente pour chaque situation de travail de la matrice en se basant sur la description de la tâche effectuée et les déterminants de cette dernière (danger, procédé, moyens de protection, etc.) : chaque situation peut comporter une ou plusieurs substances, avec plusieurs mesures pour chacune ;
- Calcul d'un rapport entre les 95^{ème} centile de l'exposition spécifique (par situation de travail) et l'exposition générale (toute la base) pour chaque substance présente dans la situation de travail ;
- Calcul d'un indice d'exposition correspondant à la moyenne des rapports calculés, pondérée par le nombre de mesures des substances des rapports calculés précédemment. Lorsque la valeur de l'indice est supérieure à 1, alors les concentrations estimées pour la situation étudiée sont supérieures à la moyenne de la base de données et donc l'exposition est considérée comme « importante ».

Bien qu'il soit pertinent, cet indice d'exposition calculé n'a pas été pris en compte dans la matrice car il ne reflétait pas le niveau d'exposition réel de la situation. En effet, lors de l'analyse de chaque situation provenant de la base de données Colchic, il a été constaté que les substances mesurées ne correspondaient pas à celles présentes dans le produit utilisé dans la matrice, et donc l'indice d'exposition calculé ne reflétait pas le niveau d'exposition du produit réellement utilisé dans la situation. Ce problème est lié à la multiplicité des produits pouvant être utilisés pour un même usage, ainsi que possiblement à la variabilité de la composition des produits : dans la base de données Colchic, les mesures proviennent de plusieurs entreprises, qui sont donc susceptibles d'utiliser différents produits pour une même situation de travail. Par ailleurs, les données de Colchic ne concernent que les substances recherchées lors des campagnes de prélèvement, qui dans certains cas ne figurent pas parmi la composition des produits utilisés. Les données de la base Colchic ne peuvent donc pas être utilisées dans ce type de travaux, elles sont plutôt destinées à des fins de soutien à la réalisation d'études épidémiologiques (par exemple, la définition du niveau de risque au sein d'une population exposée à des agents chimiques), à la communication ou la sensibilisation au niveau d'une population de travailleurs ou d'un secteur d'activités.

II.2.2. Caractérisation du danger à partir du règlement CLP

Le seul paramètre d'entrée utilisé pour déterminer le danger des produits est l'étiquetage et la classification requise par la réglementation CLP. La toxicologie réglementaire, sur laquelle

la réglementation CLP est basée, est pratiquée dans un cadre plus simplifié que la toxicologie fondamentale (82). Elle vise à organiser un cadre standardisé, avec une reconnaissance mutuelle acceptée par toutes les parties prenantes (dont la Commission Européenne, les Etats membres et les industriels), pour la maîtrise des risques liés aux produits chimiques (83). De ce fait, les essais requis dans le cadre réglementaire sont simplifiés et ne concernent pas l'ensemble des effets possibles (par exemple, la neurotoxicité est encore très mal prise en compte dans le système de classification). Par ailleurs, la réglementation prend en compte tout autant les questions économiques, sociales et sanitaires. Dans ce cadre, une substance ou un produit qui ne serait pas classé n'est pas pour autant exempt de toxicité.

Enfin, malgré le nombre important de substances encadrées par la classification CLP actuellement, et malgré les limites déjà évoquées, certaines situations constituent néanmoins des facteurs de risque à ne pas négliger en termes de prévention : notion de mélanges de composés ayant des effets ou mécanismes communs, notions de perturbateurs endocriniens générant des effets potentiellement à des doses faibles et sur des périodes d'exposition particulières, incluant le début de grossesse (en amont de la déclaration), etc. (84). Aussi, la composition des produits chimiques constitués de mélanges de substances évolue rapidement au cours du temps et les FDS ne sont pas toujours correctement mises à jour (85). La prise en compte de la polyexposition reste à ce jour un défi majeur pour l'avenir, avec des implications à la fois dans les sciences fondamentales et les sciences réglementaires.

III. Apports complémentaires du travail

Dans le cadre de l'identification des limites de Seirich, une limite ergonomique concernant la visibilité et la place des produits émis ou générés par les tâches de travail (appelés « agents chimiques émis ») par rapport aux produits classés selon le CLP et à ceux hors du champ d'application du CLP a été constatée.

Actuellement, dans Seirich, les produits hors du champ d'application du CLP (un produit cosmétique, un médicament ou un déchet par exemple) sont saisis de la même manière que les agents chimiques émis et sont donc traités de la même façon qu'une émission (danger pré-évalué selon un avis d'experts). Ceci peut apporter de la confusion aux utilisateurs et peut engendrer des doubles saisies. La figure 25 montre l'interface actuelle de Seirich pour la saisie des produits étiquetés selon le règlement CLP ; la figure 26 montre l'interface pour les agents

chimiques émis et les produits qui ne sont pas soumis au règlement CLP : ces deux catégories de produits sont toutes deux indiquées comme « agent chimique émis ».

SEIRICH
Évaluer le risque chimique

Produits étiquetés | **Agents chimiques émis** | Substances

Tous les établissements | Sélectionner une zone de travail | Sélectionner un poste de travail

Un produit étiqueté est un produit soumis à la réglementation CLP et qui présente un ensemble d'informations réglementaires sur son étiquette : pictogramme et mentions de danger en particulier.

Rechercher un produit / un fournisseur | Tous les statuts

Nom des produits étiquetés	Nom d'usage	Fournisseur	FDS	Date MàJ FDS	Statut
Hydrochloric acid 33%	-	labogros	[FDS]	-	[Statut]
OPSIAL Mastic silicone	Mastic silicone	OPSIAL	[FDS]	15/07/2015	[Statut]
Mastic silicone	la... Expanding foam	OPSIAL	[FDS]	23/03/2016	[Statut]
Mousse	waterproofing product (2)	PRB	[FDS]	16/12/2015	[Statut]
THERMOLOOK	-	PRB	[FDS]	-	[Statut]
Primer	Epoxy bonding mortar	Sto	[FDS]	-	[Statut]
I lini	Facade coat	Sto	[FDS]	04/02/2019	[Statut]

Coat | [sés des produits](#) | Ajouter à la liste les produits non associés à une zone

Ajouter un produit étiqueté

FIGURE 25. COPIE D'ECRAN DE L'INTERFACE DU LOGICIEL SEIRICH POUR L'AJOUT D'UN PRODUIT ETIQUETE SELON LE CLP AU NIVEAU DU MENU « GESTION DES PRODUITS ETIQUETES ET DES AGENTS CHIMIQUES EMIS »

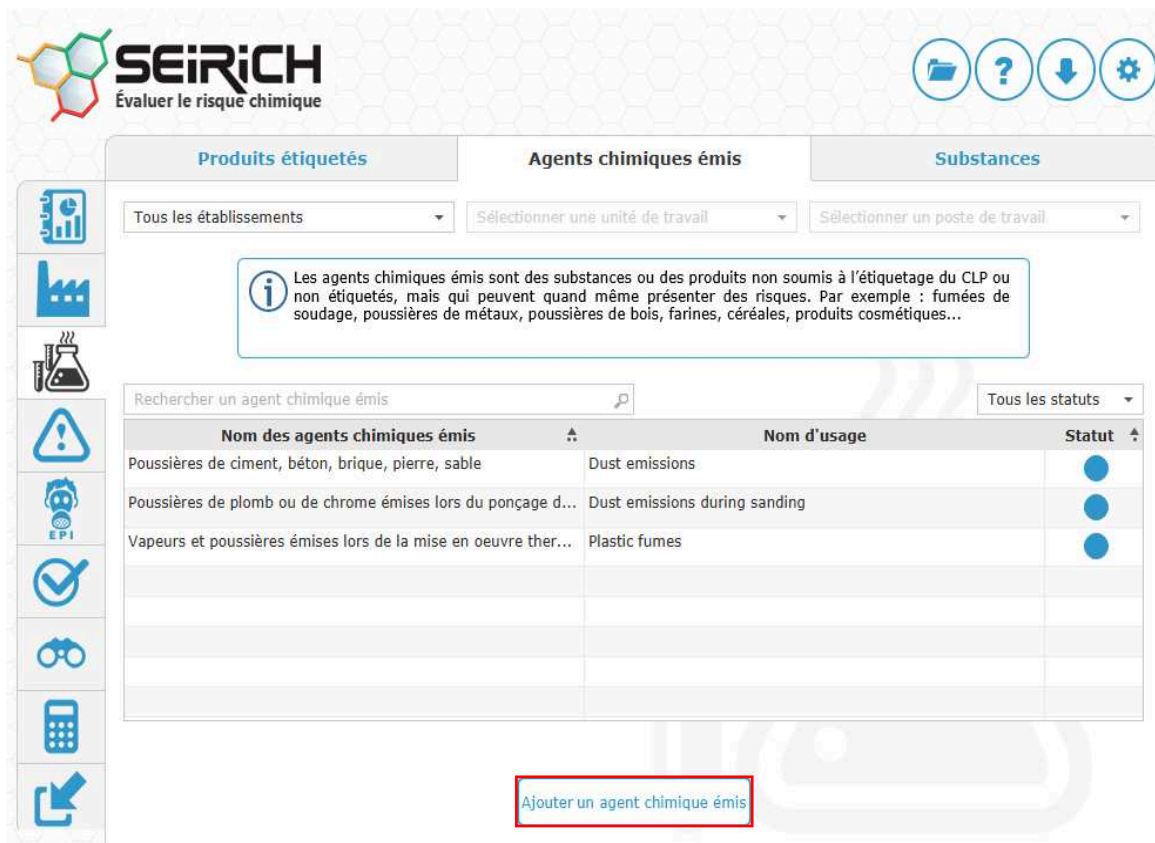


FIGURE 26. COPIE D'ECRAN DE L'INTERFACE DU LOGICIEL SEIRICH POUR L'AJOUT D'UN AGENT CHIMIQUE EMIS OU UN PRODUIT HORS CHAMP D'APPLICATION DU CLP AU NIVEAU DU MENU « GESTION DES PRODUITS ETIQUETES ET DES AGENTS CHIMIQUES EMIS »

Pour répondre à cette problématique, une solution ergonomique a été proposée. Elle consiste à positionner sur un seul écran la fonction d'ajout des trois types de produits, avec une séparation entre les produits (CLP et hors CLP) et les agents chimiques émis réels (émissions) (figure 27) :

- Les produits hors du champ d'application du CLP seront positionnés avec les produits classés selon le CLP pour une meilleure cohérence. Ils resteront cependant gérés informatiquement par le logiciel comme des agents chimiques émis, c.-à-d. que leur niveau danger est défini directement par le logiciel, issu de l'expertise des concepteurs (encadré vert de la figure 27)
- Les agents chimiques émis seront positionnés sur le côté droit de l'écran de saisie et subiront un changement de terminologie pour insister sur le caractère émissif de ce type d'agent dangereux. Exemple : « Travail des métaux et procédés métallurgiques et

miniers » devient « Emissions lors du travail des métaux et lors de procédés métallurgiques et miniers » (encadré rouge de la figure 27).

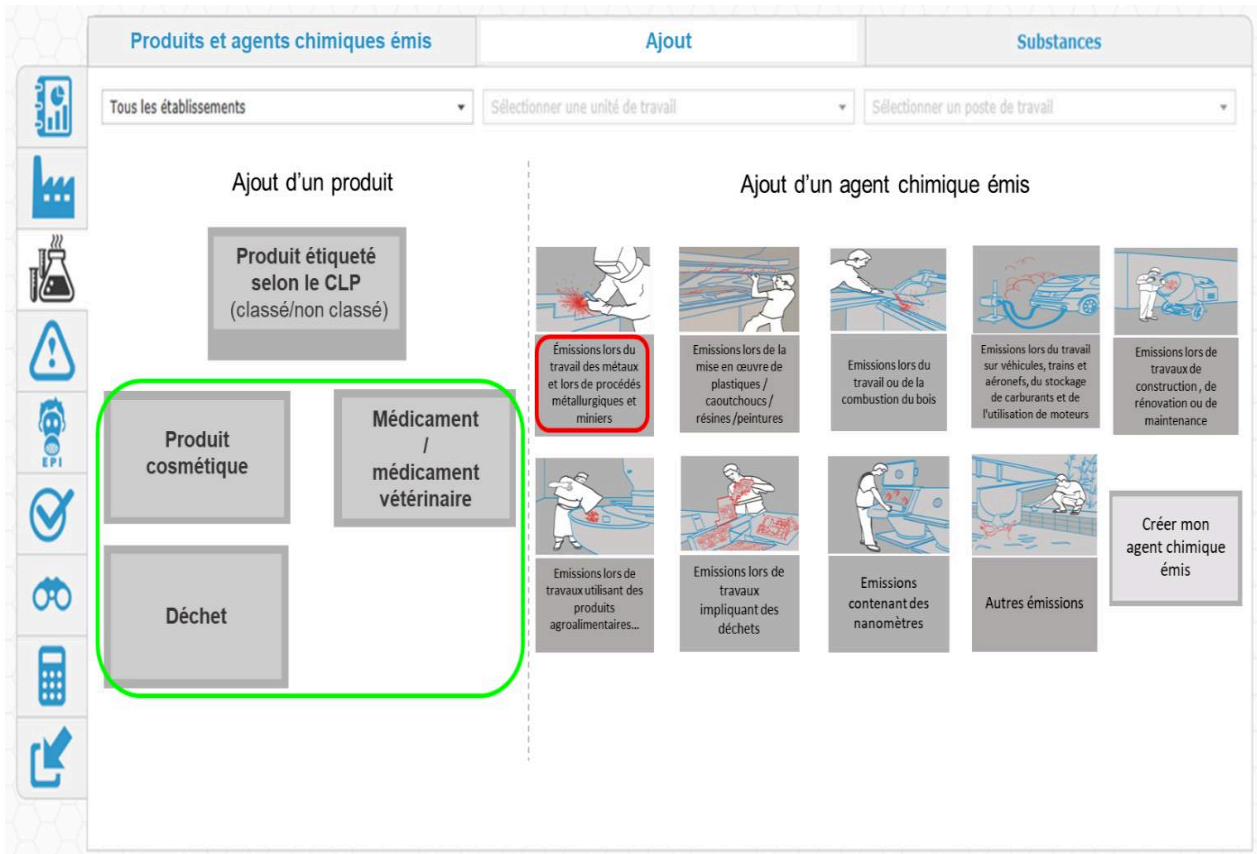


FIGURE 27. PROPOSITION D'AMELIORATION DE LA VISIBILITE DES AGENTS CHIMIQUES EMIS AU NIVEAU DU MENU « GESTION DES PRODUITS ETIQUETES ET DES AGENTS CHIMIQUES EMIS » DANS L'INTERFACE DU LOGICIEL SEIRICH

IV. Mise en application des résultats de la thèse

Ce travail a permis de proposer plusieurs améliorations d'algorithmes de Seirich. La décision sur l'application de ces propositions revient au comité de pilotage du logiciel. Les propositions d'amélioration et les résultats d'impact ont été présentés à ce comité lors de 3 réunions début 2022 (le 3 février, le 7 avril et le 7 juin 2022). Suite à plusieurs discussions, 5 améliorations sur les 7 proposées dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé et toutes les améliorations proposées dans le cadre de l'évaluation des risques incendie/explosion ont été acceptées en l'état et seront implémentées dans une nouvelle version du logiciel en 2024.

L'amélioration concernant l'évaluation des produits solides sans mention de danger pour la santé n'a pas été acceptée par le comité. La raison essentielle est liée à la réglementation française sur les poussières sans effet spécifique. En effet, en 2022, cette réglementation est en cours de révision, en vue d'abaisser la valeur limite d'exposition professionnelle. Or le comité de pilotage souligne que le fruit de ces discussions pourrait impacter la proposition réalisée dans le cadre de cette thèse. De plus, l'implémentation de cette correction peut générer des faux positifs en terme de dangerosité (certaines poussières peuvent provoquer une surcharge et d'autres non). Les discussions sur cette amélioration se poursuivent et la décision du comité de pilotage pourra évoluer notamment lorsque des nouveaux éléments réglementaires seront stabilisés.

L'amélioration d'ajustement du score de certains captages et séparation de l'entrée « sorbonne de laboratoire » de l'entrée « captage enveloppant » n'a pas été acceptée également. Ceci est dû au fait que cette proposition a été essentiellement basée sur le constat d'experts et non sur des données quantitatives (pas de données) par rapport à l'efficacité des différents types de captage. Elle fera cependant l'objet de discussions complémentaires lors de futures réunions.

CHAPITRE 7. PERSPECTIVES

I. Amélioration de la méthodologie d'évaluation du risque par voie cutanée

L'étude du risque professionnel aux produits chimiques s'est traditionnellement concentrée sur la voie inhalée. Ceci s'explique par la forte prévalence historique des maladies respiratoires chez les travailleurs des industries minières et manufacturières. La voie cutanée a souvent été négligée lors de l'évaluation du risque des produits chimiques sur la santé, malgré le fait que les maladies liées à la peau constituent 20 à 30 % des cas de maladies professionnelles enregistrées (86) et que la peau reste une voie d'entrée des substances dans l'organisme qui peut être importante dans certains cas (exemple des éthers de glycol (87)). Les méthodes d'évaluation des risques liés à la voie cutanée ne sont pourtant encore aujourd'hui pas suffisantes ni assez développées, et les données d'exposition restent peu disponibles. Les outils disponibles pour évaluer le risque cutané, comme IH SkinPerm (88) et le Dermal risk assessment model (DRAM) (89), nécessitent des paramètres présentant potentiellement plus de difficultés de recueil (exemples : le temps de rétention cutanée, la concentration/charge cutanée et le potentiel et la vitesse de déposition cutanée, etc.). Dans Seirich, la méthode d'évaluation du risque par voie cutanée a été construite en se basant sur un consensus d'expert. Elle n'est pas aussi détaillée que celle de l'inhalation, et prend en compte des mécanismes moins connus. De ce fait, une seule amélioration a été proposée pour la méthodologie d'évaluation de risque de Seirich via la voie cutanée. Il serait alors intéressant d'approfondir la révision de cette méthodologie afin de la rendre plus transparente, et plus complète par rapport aux déterminants pris en compte ainsi que des mécanismes mis en jeu pour évaluer le risque.

II. Comparaison des outils existants

La comparaison des outils d'évaluation des risques ou de l'exposition est nécessaire pour définir et comprendre les points communs et les différences entre eux. Ceci permet à l'évaluateur de se rendre compte de la finalité de chaque outil et des résultats attendus lors de l'évaluation des situations de travail. Des comparaisons entre des outils d'évaluation de l'exposition ont fait l'objet de travaux publiés dans la littérature, notamment par rapport aux données d'entrée, aux résultats ainsi qu'aux conclusions générées par chacun. Par exemple,

Savic et al. 2017 (90) ont évalué la cohérence et la corrélation de trois outils (ART, Stoffenmanager et ECETOC TRA), en comparant leurs résultats d'estimation de l'exposition. Toutes les comparaisons faites portaient sur des outils qui ont comme point d'entrée la substance et non le produit. Il serait alors intéressant de poursuivre le travail de comparaison entre Seirich et les autres modèles de REACH, commencé lors de cette thèse (voir section III du chapitre discussion) en améliorant la méthodologie développée, notamment sur les déterminants pris en compte pour le choix de la substance dangereuse (passage produit-substance) et la méthode de comparaison des résultats d'évaluation. De plus, pour comprendre l'impact réel de la différence des résultats fournis par chaque outil, il serait intéressant d'envisager une évaluation de l'étape d'interprétation des résultats et de la planification des actions préventives. Par exemple, cette évaluation pourrait viser à vérifier si des actions concrètes, imaginées par un expert en fonction des résultats de chaque modèle, sont du même ordre ou si elles sont au contraire divergentes. En effet, ce ne sont pas tant les résultats des modèles qui importent mais les actions mises en œuvre à l'issue de leur utilisation.

III. Prise en compte de de l'utilisation de produits multiples

A ce jour, Seirich ne prend pas en compte les risques combinés, liés aux polyexposition résultant de l'usage de plusieurs produits sur une même tâche de travail, ou de l'usage de plusieurs produits lors d'une activité professionnelle. A ce jour, la prise en compte de la polyexposition lors de l'évaluation des risques professionnels est affichée dans le Code du travail suite aux évolutions réglementaires liées à la loi du 2 août 2021 : l'article L. 4412-1 du Code de travail a été complété par ces mots : «, en tenant compte des situations de polyexpositions » (91). Il serait alors intéressant d'inclure un volet d'évaluation de la polyexposition dans Seirich a minima pour les tâches utilisant plusieurs produits. Ceci permettrait de rendre cet outil plus complet et de renforcer son statut de méthode de référence en évaluation du risque chimique professionnel.

IV. Evaluation de l'impact de Seirich sur la prévention des risques

Il serait intéressant d'évaluer l'impact réel de Seirich sur l'évolution des entreprises utilisatrices en terme de prévention des risques. La méthode qui peut être appliquée consisterait à suivre dans une démarche prospective de nombreuses entreprises de différents secteurs d'activités, utilisatrices et non du logiciel Seirich, sur l'étape de la mise en place d'actions préventives. Il serait ensuite possible de déterminer l'impact des actions de prévention mises en place en définissant les indicateurs d'évaluation les plus pertinents (exemple : le nombre d'accidents de travail et de maladies professionnelles déclarés).

La réalisation de cette étude serait une plus-value car elle permettrait, dans un premier temps, aux concepteurs de Seirich d'identifier d'autres voies d'évolution, et dans un deuxième temps de convaincre les entreprises réticentes à son usage, en leur montrant les avantages réels de l'utilisation d'un tel logiciel.

REFERENCES

1. Kivits J, Ménard C, Alla F. « La santé au travail : quels enjeux pour la santé publique ? ». Santé Publique. 2008;20(hs):5–6.
2. Nenonen N, Saarela K, Takala J, Hämäläinen P, Yong E, Kheng L, et al. Global Estimates of Occupational Accidents and Work-related Illnesses 2014, made for the ILO Report at XX World Congress, Frankfurt. 2014. DOI:10.13140/2.1.2864.0647
3. Pega F, Hamzaoui H, Náfrádi B, Momen NC. Global, regional and national burden of disease attributable to 19 selected occupational risk factors for 183 countries, 2000–2016: A systematic analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 2022;48(2):158–68. DOI: 10.5271/sjweh.4001
4. Rushton L. The Global Burden of Occupational Disease. *Curr Environ Health Rep*. 2017; 4(3): 340–348. doi: 10.1007/s40572-017-0151-2
5. Dong XS, Wang X, Largay JA. Occupational and non-occupational factors associated with work-related injuries among construction workers in the USA. *Int J Occup Environ Health*. 2015 Mar;21(2):142–50. doi: 10.1179/2049396714Y.0000000107
6. Bué J, Coutrot T, Guignon N, Sandret N. Les facteurs de risques psychosociaux au travail. Une approche quantitative par l’enquête Sumer. *Revue française des affaires sociales*. 2008;(2–3):45–70.
7. Imbernon. Quelle place pour les risques professionnels dans la santé publique?. *Santé Publique* , 2008
8. Dares. Huit produits cancérigènes parmi les plus fréquents, Premières synthèses, Annexe 28.1, 2005
9. Haut Conseil de la santé publique. Santé et travail Les origines, les acteurs et les indicateurs. *Actualité et dossier en santé publique* n°9. 1994. Available from: <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=ad092434.pdf>
10. INTEFP – MSSTFP. Evolution de la prévention des risques professionnels: Repères historiques. 2012. Available from: <https://docplayer.fr/12353474-Evolution-de-la-prevention-des-risques-professionnels-reperes-historiques.html>
11. Léoni L. Histoire de la prévention des risques professionnels. *Regards*. 2017 Jul 31;51(1):21–31.
12. Ministère du Travail, du Plein emploi et de l'Insertion. Eléments de politique générale: l'organisation de la prévention des risques professionnels en France. Available from: https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/Chap_01.pdf

13. Lischetti G. Les métiers de la prévention des risques professionnels. Regards. 2017;51(1):157–68.
14. Omnès C. Le risque professionnel. Revue française des affaires sociales. 2006;(4):173–87.
15. Héas PF. Les acteurs de la prévention au travail en entreprise. 2017;10.
16. Le réseau Anact-Aract | Associations régionales pour l'amélioration des conditions de travail (Aract). Available from: <https://www.anact.fr/lanact/en-region>
17. INRS- Missions et actions. Available from: <https://www.inrs.fr/inrs/missions.html>
18. INRS. Acteurs institutionnels. Les pouvoirs publics, en charge de la politique de prévention - Démarches de prévention. Available from: <https://www.inrs.fr/demarche/acteurs-institutionnels/pouvoirs-publics-politique-prevention.html>
19. Pham HL, Lapp A. Le document unique pour prévenir les risques professionnels. L'Aide-Soignante. 2017 Mar 1;31(185):30–2.
20. Meyfredi JC. History of the Risk Concept and Risk Modeling. 2012;12.EDHEC business school.
21. Organisation mondiale de la santé. Analyse des risques relatifs à la sécurité sanitaire des aliments : Guide à l'usage des autorités nationales responsables de la sécurité sanitaire des aliments. 87: 2007. Available from : <https://www.fao.org/3/a0822f/a0822f.pdf>
22. Haute Autorité de santé. Amélioration des pratiques et sécurité des soins : Mettre en œuvre la gestion des risques associés aux soins en établissement de santé. 2012. Available from: https://www.has-sante.fr/jcms/c_1239410/fr/mettre-en-oeuvre-la-gestion-des-risques-associes-aux-soins-en-etablissement-de-sante
23. Demers É, Collin-Lévesque L, Boulé M, Lachapelle S, Nguyen C, Lebel D, et al. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité dans le circuit du médicament: revue de littérature. Can J Hosp Pharm. 2018 Dec;71(6):376–84.
24. Kervern GY. Sur l'émergence d'une nouvelle science d'ingénierie: Les cindyniques, Sciences du danger et des activités à risques. Documents de l'Atelier MCX 7. Gestion des activités à risques. 2005 May. Available from: <https://archive.mcxapc.org/docs/ateliers/0505kervern.pdf>
25. VEDEL P. Diagramme causes-effets d'Ishikawa. Techniques de l'Ingénieur. 2012 feb. <https://doi.org/10.51257/f-0585>.
26. Liliana L. A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng. 2016 Nov;161:012099.

27. Froquet L. Contribution à l'analyse des risques : Proposition d'une méthode par scénarios et capitalisation de la connaissance. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG. Available from: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00168410>
28. Romdhane TB, Ammar FB, Badreddine A. Une approche par la logique floue pour l'optimisation multicritère de la prise de décision appliquée à l'AMDEC. *Journal of Decision Systems*. 2007 Jan 1;16(4):505–44.
29. Mazouni MH. Pour une meilleure approche du management des risques: de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision. 2008 Nov. Available from : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00338938/document>
30. Mortureux Y. Analyse préliminaire de risques. *Techniques de l'ingénieur*. 2002 Oct. <https://doi.org/10.51257/a-v1-se4010>
31. Royer M. HAZOP : une méthode d'analyse des risques. *Techniques de l'ingénieur*. 2009 Apr. <https://doi.org/10.51257/a-v1-se4030>
32. Grandamas O. Méthode MADS-MOSAR - Pour en favoriser la mise en œuvre. *Techniques de l'Ingénieur*. 2010 Oct. <https://doi.org/10.51257/a-v1-se4062>
33. Munoz Giraldo F. Utilisation de l'ensemble méthodologique MADS/MOSAR pour l'évaluation des systèmes de barrières de sécurité : application au secteur minier colombien. 2007 sept. Available from: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/INPL/2007_MUNOZ_GIRALDO_F.pdf
34. Périlhon P. La gestion des risques : méthode MADS-MOSAR II : manuel de mise en œuvre, application aux installations. les Éd. Demos. Paris; 2007.
35. Becker, G. M. A practical risk management approach. Conference Paper at PMI® Global Congress 2004—North America, Anaheim, CA. Newtown Square, PA: Project Management Institute. Available from: <https://www.pmi.org/learning/library/practical-risk-management-approach-8248>
36. Anthony (Tony) Cox Jr L. What's Wrong with Risk Matrices? *Risk Analysis*. Society of risk analysis. 2008;28(2):497–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>
37. Duijm NJ. Recommendations on the use and design of risk matrices. *Safety Science*. 2015 Jul 1;76:21–31. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.014>
38. Arnetz JE, Hamblin L, Ager J, Aranyos D, Upfal MJ, Luborsky M, et al. Application and Implementation of the Hazard Risk Matrix to Identify Hospital Workplaces at Risk for Violence. *Am J Ind Med*. 2014 Nov;57(11):1276–84. DOI: 10.1002/ajim.22371
39. National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Washington D.C.: National Academy Press; 1983.
40. Bonvallot N, Péry A, Lafon D, Boulanger G, Karg F, Mosqueron L, et al. Évaluation du risque chimique en santé-travail et en santé-environnement : objectifs et méthodes. *Environnement, Risques & Santé*. 2013 Sep 1;12(5):434–41.

41. Stewart P, Stenzel M. Exposure Assessment in the Occupational Setting. *Applied occupational and environmental hygiene*. 2000 Jun 1;15:435–44. <https://doi.org/10.1080/104732200301395>
42. ANSES- AVIS complété relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés à la présence de substances chimiques dans des masques chirurgicaux mis à la disposition du grand public. 2021. Available from : <https://www.anses.fr/fr/system/files/CONSO2021SA0087.pdf>
43. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); Current Intelligence Bulletin 69: NIOSH Practices in Occupational Risk Assessment. 2020 Sep 9. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2020-106/default.html>
44. Bonvallot N, Brimo S, Boudes P, Coumoul X, Duboc S, Mougin C, Salles B. Pour une gestion alerte du risque chimique - Risques (éco)toxicologiques pour les êtres humains et l'environnement dans une logique de biodiversité. 2021 oct : 129. DAspe/GT. <https://hal.inrae.fr/hal-03418000>
45. Zalk D, Nelson D. History and Evolution of Control Banding: A Review. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 2008 Jun 1;5:330–46. DOI: 10.1080/15459620801997916
46. Zalk DM, Heussen GH. Banding the World Together; The Global Growth of Control Banding and Qualitative Occupational Risk Management. *Safety and Health at Work*. 2011 Dec 1;2(4):375–9. DOI: 10.5491/SHAW.2011.2.4.375
47. Naumann BD. Control banding in the pharmaceutical industry. 2006:11. *Occupational Hygienists Conference Proceedings 2005*. Available at: <http://www.aioh.org.au/downloads/documents/ControlBandingBNaumann.pdf> (accessed November 15, 2014).
48. Hashimoto H, Goto T, Nakachi N, Suzuki H, Takebayashi T, Kajiki S, et al. Evaluation of the Control Banding Method-Comparison with Measurement-based Comprehensive Risk Assessment. *Journal of occupational health*. 2007 Dec 1;49:482–92. DOI:10.1539/joh.49.482
49. Garrod ANI, Evans PG, Davy CW. Risk management measures for chemicals: the "COSHH essentials" approach. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2007 Dec;17(1):S48–54. DOI: 10.1038/sj.jes.7500585
50. Großbritannien, editor. COSHH essentials: easy steps to control chemicals ; [under the] Control of Substances Hazardous to Health Regulations ; [control guidance sheets]. Sudbury, Suffolk: HSE Books; 1999. (HSG).
51. International Labor Organization. International Chemical Control Toolkit. 2006. Available from: https://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ctrl_banding/toolkit/icct/

52. Jones RM, Nicas M. Margins of safety provided by COSHH Essentials and the ILO Chemical Control Toolkit. *Ann Occup Hyg.* 2006 Mar;50(2):149–56. DOI: 10.1093/annhyg/mei054
53. Urbanus J, Henschel O, Li Q, Marsh D, Money C, Noij D, et al. The ECETOC-Targeted Risk Assessment Tool for Worker Exposure Estimation in REACH Registration Dossiers of Chemical Substances—Current Developments. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020 Nov 14;17:8443. DOI: 10.3390/ijerph17228443
54. Persoons R. Etude des méthodes et modèles de caractérisation de l'exposition atmosphérique aux polluants chimiques pour l'évaluation des risques sanitaires. 2012 Aug :251. Available from: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00747456>
55. MARQUART H, HEUSSEN H, LE FEBER M, NOY D, TIELEMANS1 E, SCHINKEL J, et al. 'Stoffenmanager', a Web-Based Control Banding Tool Using an Exposure Process Model. *The Annals of Occupational Hygiene.* 2008 Jun 27. <https://doi.org/10.1093/annhyg/men032>
56. Cherrie J, Schneider T, Spankie S, Quinn M. A new method for structured, subjective assessments of past concentrations. *Occup Hyg.* 1996 Jan 1;3:75–83.
57. Cherrie JW. The effect of room size and general ventilation on the relationship between near and far-field concentrations. *Appl Occup Environ Hyg.* 1999 Aug;14(8):539–46. DOI: 10.1080/104732299302530
58. Tielemans E, Noy D, Schinkel J, Heussen H, Van Der Schaaf D, West J, et al. Stoffenmanager Exposure Model: Development of a Quantitative Algorithm. *Ann Occup Hyg.* 2008 Aug 1;52(6):443–54. DOI: 10.1093/annhyg/men033
59. INRS. Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique : un outil d'aide à la décision - Article de revue - ND 2233. Available from: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202233>
60. Anses. Avis et rapport de l'Anses relatif à la proposition de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel - Evaluation des effets sur la santé sur le lieu de travail pour les poussières dites sans effet spécifique (PSES). Available from: <https://www.anses.fr/fr/content/avis-et-rapport-de-lanses-relatif-%C3%A0-la-proposition-de-valeurs-limites-dexposition-%C3%A0-des>
61. Ministère du travail, du plein emploi et de l'insertion. Plan santé au travail. 2015 Nov. Available from: <https://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/plans-gouvernementaux-sante-au-travail/article/plans-sante-au-travail-pst>
62. Duuren-Stuurman B, Vink S, Verbist K, Heussen H, Brouwer D, Kroese D, et al. Stoffenmanager Nano Version 1.0: A Web-Based Tool for Risk Prioritization of Airborne Manufactured Nano Objects. *The Annals of occupational hygiene.* 2012 Jan 20;56:525–41. DOI:10.1093/annhyg/mer113

63. Jensen K, Saber AT, Kristensen HV, Koponen I, Liguori B, Wallin H. NanoSafer vs. 1.1 - Nanomaterial risk assessment using first order modeling. Conference communication: Inhaled Particles XI, 23-25 September, 2013. Nottingham, United Kingdom.
64. Savic N, Racordon D, Buchs D, Gasic B, Vernez D. TREXMO: A Translation Tool to Support the Use of Regulatory Occupational Exposure Models. *ANNHYG*. 2016 Oct;60(8):991–1008. DOI: 10.1093/annhyg/mew042
65. Federal Institute for Occupational Safety and Health .BAuA - Easy-to-use Workplace Control Scheme for Hazardous Substances (EMKG). Available from: <https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Hazardous-substances/EMKG/Easy-to-use-workplace-control-scheme-EMKG.html>
66. Tickner J, Friar J, Creely KS, Cherrie JW, Pryde DE, Kingston J. The Development of the EASE Model. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2005 Mar 1;49(2):103–10.
67. Lamb J, B. Miller G, MacCalman L, Rashid S, van Tongeren M. Evaluation of Tier 1 Exposure Assessment Models under REACH (eteam) Project - Substudy Report on External Validation Exercise. 2015 :160.
68. La Rocca B, Sarazin P. MiXie, an Online Tool for Better Health Assessment of Workers Exposed to Multiple Chemicals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022 Jan 15;19:951. DOI:10.3390/ijerph19020951
69. INRS- sorbonnes de laboratoire - Brochure. Available from: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20795>
70. INRS. Nanomatériaux, nanoparticules. Terminologie et définitions. Available from: <https://www.inrs.fr/risques/nanomateriaux/terminologie-definition.html>
71. Spinazzè A, Lunghini F, Campagnolo D, Rovelli S, Locatelli M, Cattaneo A, et al. Accuracy Evaluation of Three Modelling Tools for Occupational Exposure Assessment. *Ann Work Expo Health*. 2017 Apr 1;61(3):284–98. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx004>
72. Sánchez Jiménez A, Varet J, Poland C, Fern GJ, Hankin SM, van Tongeren M. A comparison of control banding tools for nanomaterials. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2016 Dec 1;13(12):936–49. DOI: 10.1080/15459624.2016.1200191
73. Zare Sakhvidi MJ, Mihanpoor H, Falahzadeh H, Mehrdad M, Halvani GH, Samouri F. Comparison Of Exposure Assessment Models, Expert Judgment And Bayes Analysis In Prediction Of The Tile Industry Respiratory Exposures. 2014 Jan 1;5(4):52–9.
74. ANSES. Élaboration d’une méthodologie d’évaluation du caractère perturbateur endocrinien des substances chimiques : Contribution à la Stratégie nationale sur les perturbateurs endocriniens 2019-2022. 2021. Available from: <https://www.anses.fr/fr/system/files/REACH2019SA0179Ra.pdf>
75. EFSA. Guidance on Expert Knowledge Elicitation in Food and Feed Safety Risk Assessment. *EFSA Journal*. 2014;12(6):3734.

76. ANSES. Prise en compte de l'incertitude en évaluation des risques : revue de la littérature et recommandations pour l'Anses. 2016. Available from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01617680>
77. EFSA, Hart A, Maxim L, Siegrist M, Von Goetz N, da Cruz C, et al. Guidance on Communication of Uncertainty in Scientific Assessments. *EFSA Journal*. 2019;17(1):e05520. DOI:<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5520>
78. Martinet B, Rosankis E. Les expositions aux risques professionnels dans la fonction publique et le secteur privé en 2017. Enquête SUMER Anses. 2019. Available from: https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/enquete_sumer.pdf
79. Cox L A T, Babayev D, Huber W A. Some Limitations of Qualitative Risk Rating Systems. *Risk Analysis* 2005. 25(3):651-62. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2005.00615.x
80. Moon HI, Han SW, Shin S, Byeon SH. Comparison of the Qualitative and the Quantitative Risk Assessment of Hazardous Substances Requiring Management under the Occupational Safety and Health Act in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021 Jan;18(3):1354. DOI:10.3390/ijerph18031354
81. Vincent R, Jeandel B. COLCHIC - Occupational Exposure to Chemical Agents Database: Current Content and Development Perspectives. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2001 Jan 1;16(2):115–21. DOI: 10.1080/104732201460190
82. Fairhurst S. Hazard and risk assessment of industrial chemicals in the occupational context in europe: some current issues. *Food and Chemical Toxicology*. 2003 Nov 1;41(11):1453–62. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(03\)00193-5](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(03)00193-5)
83. Demortain D. L'étude Séralini et ce qu'elle nous apprend sur la toxicologie réglementaire. *Natures Sciences Sociétés*. 2013;21(1):84–7.
84. Barouki R. Environnement et santé. Incertitude et précaution. *Raison présente*. 2020;214–215(2–3):119–30.
85. Nicol A-M, Hurrell AC, Wahyuni D, McDowall W, Chu W. 2008. Accuracy, comprehensibility, and use of material safety data sheets: a review. *Am J Ind Med*. 51(11): 861–876. doi:10.1002/ajim.20613
86. Semple S. Dermal exposure to chemicals in the workplace: just how important is skin absorption? *Occupational and Environmental Medicine*. 2004 Apr 1;61(4):376–82. DOI: 10.1136/oem.2003.010645
87. Lockley, D.J., Howes, D. & Williams, F.M. Cutaneous metabolism of glycol ethers. *Arch Toxicol* 79, 160–168 (2005). <https://doi.org/10.1007/s00204-004-0619-3>
88. Tibaldi R, Berge W.T. Dermal Risk Assessment Using the IH SkinPerm Model. *Jr of occupational and Environmental Hygiene*. March 2014. DOI:10.2118/168496-MS
89. AIHA. Dermal Risk Assessment Model (DRAM). Available from: <https://www.aiha.org/public-resources/consumer-resources/apps-and-tools-resource->

center/aiha-risk-assessment-tools/dermal-risk-assessment-model#:~:text=A%20tool%20provides%20a%20systematic,for%20specific%20materials%20or%20scenarios.

90. Savic N, Gasic B, Vernez D. ART, Stoffenmanager, and TRA: A Systematic Comparison of Exposure Estimates Using the TREXMO Translation System. *Annals of Work Exposures and Health*. December 2017; 62(1):72-87. DOI:10.1093/annweh/wxx079

91. Anses- Dares- Santé publique France. PLAN SANTE-TRAVAIL 3: Amélioration et prise en compte de la polyexposition. 2021 Sept. Available from: https://www.anses.fr/fr/system/files/PST3_ProfilTravailleursExposes_Polyexposition.pdf

ANNEXES

Annexe 1. Principes généraux de la prévention des risques professionnels

Extrait de l'article L. 4121-2 du code de travail.

«

L'employeur met en œuvre les mesures prévues à l'article L. 4121-1 sur le fondement des principes généraux de prévention suivants :

1° Eviter les risques ;

2° Evaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ;

3° Combattre les risques à la source ;

4° Adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes de travail ainsi que le choix des équipements de travail et des méthodes de travail et de production, en vue notamment de limiter le travail monotone et le travail cadencé et de réduire les effets de ceux-ci sur la santé ;

5° Tenir compte de l'état d'évolution de la technique ;

6° Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ;

7° Planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants, notamment les risques liés au harcèlement moral et au harcèlement sexuel, tels qu'ils sont définis aux articles L. 1152-1 et L. 1153-1, ainsi que ceux liés aux agissements sexistes définis à l'article L. 1142-2-1 ;

8° Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle ;

9° Donner les instructions appropriées aux travailleurs. »

Annexe 2. Les situations de travail et niveaux de risque experts et Seirich

Table 1. Work situations with their expert and Seirich risk scores

N° work situation	Activity sector	Company's activity	Task	Type of process used	Collection système + the type if existing	General ventilation	Outdoors /indoors work	Individual protection	Product	Daily amount of the product	Duration	SDS	Temperature of use (°C)	hazard statements according to the CLP regulation	Chemicals emitted during the process	Experts' risk score	Variability (%)	Confidence (%)	Supporting comments	Seirich risk score
3	building and construction sector	Company of manufacture of prefabricated reinforced concrete.	MIG arc welding	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	welding fumes	81	20	80	high hazard (welding fumes carcinogenic) and high exposure	
4	Automotive sector	Heavy vehicle dealership : sale, rental and maintenance of new and used vehicles	welding	dispersive	not operative	operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	welding fumes	75	18	82	high hazard: "Carcinogenic" welding fumes; high exposure: only ventilation not sufficient	
5	plasturgy sector	a flexible hose manufacturing company	plastic extrusion	Open	not operative	not operative	indoors	operative (type not specified)	-	-	> 4h	-	-	-	plastic fumes	68	26	74	potentially high exposure because no preventive equipment is in place	
6	manufacture of beds sector	Manufacturer of bed frames and mattresses.	gluing	dispersive	extraction slit	operative	indoors	not operative	glue	3L	1h - 4h	Yes	20	H351 Suspected of causing cancer.	-	53	20	80	high hazard: carcinogenic, volatile aerosol form medium exposure because of the use of ventilation and collection.	
7	Metalworking sector	railway seat manufacturing company	electrostatic powder coating	dispersive	booth	operative	indoors	operative (type not specified)	paint	0,16 kg	> 4h	Yes	-	H319 Causes serious eye irritation	-	32	20	80	low exposure : low daily amount , use of a ventilation and a booth and an individual protective equipment.	
8	ironwork sector	ironwork company	grinding of a metal part	dispersive	operative (type not specified)	not operative	indoors	operative (type not specified)	-	-	15min - 1h	-	-	-	metal particles	45	21	79	high hazard: Presence of respirable and alveolar dusts / emission of C2b particles low exposure: dispersive process but presence of a collection system and individual equipment	

9	building and construction sector	Company of manufacture of prefabricated reinforced concrete.	oil spray demoulding	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	mold release oil	30L	15min - 1h	Yes	20	H304 May be fatal if swallowed and enters airways	-	54	18	82	medium hazard ; high exposure: no protection with a dispersive process	
10	building and construction sector	Company of manufacture of prefabricated reinforced concrete.	concrete sanding	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	concrete dust	79	18	82	high hazard due to the concrete dust and high exposure (dispersive process without any protective equipment)	
11	Metalworking sector	railway seat manufacturing company	polishing of aluminum and magnesium parts	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	aluminum and magnesium fumes	65	18	82	high hazard: respiratory damage due to the aluminum and magnesium fumes high exposure: dispersive process without any protective equipment	
14	Maintenance and control sector	Garden maintenance service company	gluing of wooden garden shed parts	open	not operative	not operative	outdoors	not operative	wood glue	None	> 4h	Yes	20	H318 Causes serious eye damage.	-	38	17	83	low hazard and low exposure (open process but outdoors working)	
15	building and construction sector	Plumbing, air conditioning and heating company.	plumbing	open	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	asbestos dust	80	19	81	high hazard: proven carcinogenic asbestos uncertainty on exposure : -asbestos not very frequent at the moment: low exposure (evaluation of the situation in general) -operations on equipment with asbestos (evaluation of the real situation)	
16	building and construction sector	construction company	soldering	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	fumes	76	19	81	High hazard and high exposure	

17	Metalworking sector	railway seat manufacturing company	painting	dispersive	booth	operative	indoors	operative (type not specified)	solvent-based liquid paint	0,3L	1h - 4h	Yes	20	H335 May cause respiratory irritation H336 May cause drowsiness or dizziness	-	28	22	78	medium hazard because the product is classified as an irritant low exposure : booth and individual protective equipment, and low quantity	
19	plasturgy sector	a flexible hose manufacturing company	Aluminum hose cutting	Open	not operative	not operative	indoors	Cartridge helmet with gas filter type A	Cutting-oil	1L	1h - 4h	Yes		None	-	50	22	78	high exposure due to the open process without any protective equipment	
20	printing sector	Screen printing company	screen print	open	not operative	operative	indoors	operative (type not specified)	Ink	-	> 4h	Yes	20	H336 May cause drowsiness or dizziness	-	40	21	79	Low exposure to an irritant and drowsiness inducing product but uncertainty related to the exposure because of lack of sufficient data	
21	Automotive sector	manufacturer of automotive equipment and accessories	Automatic press	open	not operative	not operative	indoors	not operative	lubricating oils	-	> 4h	Yes	100	H319 Causes serious eye irritation	-	43	22	78	low hazard and high exposure	
22	plasturgy sector	a flexible hose manufacturing company	TIG welding	dispersive	operative (type not specified)	operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-		welding fumes	57	22	78	high hazard due to welding fumes which are carcinogenic medium exposure: the task is less emissive than MIG welding and the presence of ventilation and collection système	
23	building and construction sector	Company of manufacture of prefabricated reinforced concrete.	arc welding	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	welding fumes	83	18	82	high hazard (welding fumes carcinogenic) and high exposure	
24	Metalworking sector	manufacturing company of metal parts	spot welding	dispersive	not operative	operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-		welding fumes	69	17	83	high hazard: welding fumes are carcinogenic high exposure: emissive process, without any protective equipment; but uncertainty because of lack of sufficient	

																			information on the task	
25	Metalworking sector	manufacturing company of metal parts	Projection welding	dispersive	not operative	operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	welding fumes	66	20	80	high hazard: welding fumes are carcinogenic high exposure: emissive process, without any protective equipment, but uncertainty because of lack of sufficient information on the task	
26	building and construction sector	Company of manufacture of prefabricated reinforced concrete.	anti-cracking	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	anti-cracking oil	-	15min - 1h	Yes	20	None	-	40	20	80	high exposure : emissive task because there are no prevention equipment	
27	thermal, aeraulic and refrigeration sector	manufacturer of aeraulic and thermal equipment	spray gluing	dispersive	booth	not operative	indoors	not operative	solvent glue	None	> 4h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation H334 May cause allergy or asthma symptoms of breathing difficulties if inhaled.	-	53	20	80	In SDS, mixture classified H319 (eye) but composed of substances classified H319, H335, H336, H332 and H351 (Carc 2) medium exposure : booth but no individual protective equipment	
28	thermal, aeraulic and refrigeration sector	manufacturer of aeraulic and thermal equipment	Painting	dispersive	booth	not operative	indoors	not operative	powder coating	None	> 4h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation	-	53	18	82	low hazard and medium exposure (booth and no protective equipement)	
29	railway sector	railway seat manufacturing company	gluing of metal structures	dispersive	extractor hood	not operative	indoors	not operative	glue	-	> 4h	Yes	20	H335 May cause respiratory irritation.	-	47	16	84	low hazard and high exposure because the extractor hood is not adapted to the task	

30	Transportation sector	Service provider	maintenance of gantry washers for buses and streetcars	dispersive	not operative	not operative	outdoors	not operative	flocculent agent	-	15min - 1h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation	-	18	19	81	outdoor work and low inhalation toxicity
31	Automotive sector	A manufacturer of scooter accessories.	Sanding of polymerized mastic.	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	dust	56	29	71	hazard of pulmonary overload due to dust high exposure: dispersive process without protective equipment
32	Automotive sector	Heavy vehicle dealership : sale, rental and maintenance of new and used vehicles	Manual sanding	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	dust	55	29	71	dust without specific effect: pulmonary overload high exposure: dispersive manual sanding process and lack of collection
33	Automotive sector	Heavy vehicle dealership : sale, rental and maintenance of new and used vehicles	mechanical sanding	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	dust	59	24	76	high hazard and high exposure
36	plasturgy sector	extrusion and printing company of plastic shrink films	flexography	open	not operative	not operative	indoors	not operative	Hydrochromic solvent based flexo ink	1600L	> 4h	yes	20	H319 - Causes serious eye irritation. H335 - May cause respiratory irritation. H336 - May cause drowsiness or dizziness.	-	56	23	77	medium hazard due to the solvent classified H319 H335 and H336- high exposure : open process without any protective equipment
37	printing sector	a company of pre-printed paper supports transformation	stripping of ink-impregnated supports	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	Solvent		15min - 1h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation H336 May cause drowsiness or dizziness	-	56	20	80	medium danger : simple irritant + reversible effect on the nervous system high exposure : Dispersive process without collection system + volatile product

38	printing sector	a company of pre-printed paper supports transformation	applicati n of a plastic film on a surface	open	not operative	not operativ e	indoors	not operative	Solvent based glue	-	> 4h	yes	20	H336 - May cause drowsiness or dizziness	-	49	19	81	medium danger : simple irritant + reversible effect on the nervous system high exposure: volatile product in open process without protective equipment	
39	Label manufacturin g sector	production and control of adhesive labels	Engraving	Open	not operative	operativ e	indoors	not operative	Solvent	-	> 4h	yes	20	H319 Causes serious eye irritation H336 May cause drowsiness or dizziness	-	51	20	80	medium exposure : volatile product , open process and use of ventilation	
40	building and construction sector	pavement construction and maintenance company	truck driving	enclosed but regularly open	not operative	not operativ e	outdoors	not operative	-	-	> 4h	-	-	-	asphalt, coal tar, heavy petroleum hydrocarbons and toxic gas	55	25	75	high hazard due to bitumen fumes classified as carcinogenic 2B by the IARC low exposure with enclosed process ,outdoors; but uncertainty due to lack of the task description	
41	printing sector	a company of pre-printed paper supports transformation	Solvent dumping	enclosed	not operative	not operativ e	outdoors	not operative	solvent	-	15min - 1h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation H336 May cause drowsiness or dizziness.	-	22	16	84	very low exposure (enclosed process)	
42	building and construction sector	construction company	loading of demolitio n debris	Open	not operative	not operativ e	outdoors	not operative	-	-	> 4h	-	-	-	silica mineral dust	65	25	75	high hazard du to silica and high exposure : no protective equipement	
43	building and construction sector	demolition company	unloading of demolitio n debris	open	not operative	not operativ e	outdoors	not operative	-	-	> 4h	-	-	-	silica mineral dust	66	19	81	high hazard du to silica dust which is carcinogen high exposure : open process, no protective equipment	
44	Automotive sector	Heavy vehicle dealership : sale, rental and maintenance of new and used vehicles	Storage	Enclosed	not operative	not operativ e	indoors	not operative	Cleaning solvents	None	> 4h	-	-	H350 : May cause cancer H372 : Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure	Asbestos dust	35	19	81	high hazard due to asbestos dust which is carcinogenic but the exposure is low with the enclosed process	

45	Maintenance and control sector	equipment maintenance provider	maintenance of fuel distribution equipment	enclosed but regularly open	not operative	not operative	outdoors	not operative	-	-	> 4h	-	-	-	fuel vapors and mists	48	22	78	High hazard : fuel neurotoxic low exposure : outdoors work, few exposure with low volatile diesel	
47	manufacture of composite parts sector	Company of manufacture of composite parts	demoulding	open	not operative	not operative	indoors	Nitrile gloves + face mask with cartridge	Mold release solvent	10L	15min - 1h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation	-	34	17	83	medium hazard and medium exposure (open process and medium amount)	
48	Automotive sector	a manufacturer of scooter accessories.	thermoforming	open	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	Styrene fumes	67	22	78	High hazard du to the styrene fumes high exposure : open process without protective equipment	
49	textile industries sector	textile industry	dyeing of fabrics using an industrial dyeing machine	open	not operative	operative	indoors	not operative	dye	-	> 4h	yes	-	None	-	31	17	83	high exposure but very low hazard	
51	plasturgy sector	manufacture of sanitary plastics	polishing	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	1h - 4h	-	-	-	dust	57	25	75	hazard of pulmonary overload due to dust high exposure: dispersive process without protective equipment	
52	railway sector	railway seat manufacturing company	cleaning of supply stations	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	< 15min	-	-	-	dust	49	27	73	high hazard and high exposure	
53	printing sector	photo-engraving company	electrolytic degreasing of printing cylinders	open	extraction slit	not operative	indoors	not operative	metal degreasing agent	118 g/l	> 4h	yes	-	None	-	36	19	81	low hazard and medium exposure (open process, use of collection system)	
54	building and construction sector	Company of manufacture of prefabricated reinforced concrete.	concrete cutting	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	1h - 4h	-	-	-	silica dust	82	20	80	high hazard du to silica dust wich is carcinogenic high exposure	
55	building and construction sector	Company of manufacture of prefabricated reinforced concrete.	wood cutting	dispersive	not operative	operative	indoors	not operative	-	-	1h - 4h	-	-	-	wood dust	81	22	78	high hazard due to carcinogenic wood dust high exposure	

56	Manufacturing sector	company using asbestos substitute fibres	mechanical winding	open	booth	not operative	indoors	operative (type not specified)	-	-	1h - 4h	-	-		mineral fiber dust	44	26	74	uncertainty because not enough data on the substance: hazard can vary according to the type of fiber low exposure because working under a booth with an individual equipment but uncertainty on exposure: not enough information on the process
57	Manufacturing sector	company using asbestos substitute fibres	manual winding	open	booth	not operative	indoors	not operative	-	-	1h - 4h	-	-	-	mineral fiber dust	49	26	74	uncertainty: hazard may vary according to the type of fiber low exposure : use of booth and individual equipment
58	printing sector	printing company	cleaning of cylinders by soaking	open	not operative	not operative	indoors	operative (type not specified)	cleaning solvent	-	1h - 4h	yes	20	H319 Causes serious eye irritation H336 May cause drowsiness or dizziness	-	41	18	82	medium hazard and high exposure (open process + volatile product and no collective protective equipment)
59	Label manufacturing sector	production and control of adhesive labels	cliché cleaning	open	not operative	operative	indoors	not operative	solvent	-	1h - 4h	yes	20	H336 May cause drowsiness or dizziness	-	50	19	81	medium hazard (product classified H336) high exposure : open process and no collection system
60	Automotive sector	Heavy vehicle dealership : sale, rental and maintenance of new and used vehicles	Cleaning of big metal parts	Open	not operative	not operative	indoors	not operative	Detergent	None	1h - 4h	Yes	20	None	-	43	19	81	low hazard but high exposure due to the open process and the absence of protective equipment
61	Automotive sector	Heavy vehicle dealership : sale, rental and maintenance of new and used vehicles	cleaning of small metal parts	open	not operative	not operative	indoors	not operative	Decalcifying cleaner	-	1h - 4h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation H336 May cause drowsiness or dizziness	-	62	24	76	medium hazard and high exposure
65	porcelain sector	porcelain factory	making porcelain pieces	open	not operative	not operative	indoors	operative (type not specified)	porcelain dough	-	> 4h	-	-	-	silica dust	58	33	67	high hazard due to silica dust which is carcinogenic high exposure

66	Cosmetic sector	cosmetics company	Handling and preparation of perfumed liquids.	open	not operative	not operative	indoors	not operative	perfumed liquids	-	> 4h	yes	20	H319 Causes serious eye irritation	-	42	18	82	low hazard : skin allergen but not respiratory high exposure: open process without collection or individual equipment + volatile chemicals
67	Manufacturing sector	company using asbestos substitute fibres	Fiber braiding	enclosed but regularly open	booth	not operative	indoors	not operative	-	None	> 4h	-	-	-	mineral fibers	46	18	82	high hazard related to mineral fibers (carcinogenic) but uncertainty because type of fiber not mentioned Uncertainty of exposure: High dust emission during braiding = high exposure presence of a hood = low exposure
68	Manufacturing sector	company using asbestos substitute fibres	Fiber weaving	enclosed but regularly open	hood	not operative	indoors	not operative	-	-	> 4h	-	-	-	mineral fibers	48	19	81	high hazard due to mineral fibers Uncertainty of exposure: High dust emission during weaving = high exposure presence of hood = low exposure
69	Agri-food sector	wheat flour bagging workshop	flour bagging	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	-	about 220 tons of flour/day	> 4h	-	-	-	Flour dust	63	19	81	medium hazard : respiratory allergen high exposure
70	Agri-food sector	industrial sausage making	room cleaning	dispersive	not operative	not operative	indoors	operative (type not specified)	detergent	-	> 4h	yes	20	None	-	37	15	85	medium exposure : emissive process but presence of individual protection and non-volatile product
72	Automotive sector	Heavy vehicle dealership : sale, rental and maintenance of new and used vehicles	mechanical setting	open	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	> 4h	-	-	-	fuel vapors	75	18	82	high hazard: Carbon monoxide toxic by inhalation and reprotoxic high exposure : task in a car workshop, not ventilated, without collection system

73	building and construction sector	Service provider	demolition of a concrete and stone garden shed	dispersive	booth	not operative	outdoors	not operative	-	-	> 4h	-	-	-	silica Dust	28	19	81	High hazard due to silica dust. The use of booth reduces exposure.	
74	Manufacturing sector	manufacture of artificial mineral fibers	use of an instrument for manufacturing carbon nanofibers	dispersive	fume cupboard	operative	indoors	operative (type not specified)	-	None	1h - 4h	-	-	-	carbon nanofibers	37	23	77	high hazard related to carbon nanofibers which are potential carcinogens and medium exposure due to dispersive process and use of fume cupboard	
75	Fireworks sector	fireworks industry	Supervision of the fireworks launchings	dispersive	not operative	not operative	outdoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	fireworks fumes	49	38	62	Uncertainty on the hazard: fumes from the fireworks (lead particles? fine particles?)	
76	Transportation sector	goods warehouse	driving a self-propelled gas truck	dispersive	ventilated booth with air filter	not operative	indoors	not operative	-	-	> 4h	-	-	-	exhaust gas	58	24	76	medium hazard: gas emissions that can have pulmonary effects low exposure driving a truck only (operator distant from exposure source) and use of but use of ventilated booth with air filter	
77	railway sector	Service provider	unloading of coal wagon	dispersive	not operative	not operative	outdoors	not operative	-	-	< 15min	-	-	-	coal dust	50	23	77	high hazard	
78	Metalworking sector	Metalworking company	monitoring of a hot rolling machine	Open	not operative	not operative	indoors	operative (type not specified)	-	-	< 15min	-	-	-	metal fumes	41	26	74	high hazard: metal fumes cause respiratory damage exposure to fumes reduced by wearing an individual protective equipment	
79	Agri-food sector	industrial kitchen	semi-artisanal preparation of gnocchi dough	dispersive	not operative	operative	indoors	not operative	food preserver	50g	< 15min	Yes	15	H319 Causes serious eye irritation	-	21	21	79	low hazard and high exposure (dispersive process with only ventilation)	

80	Winery sector	Winery	Fumigation of intermediate storage areas of cylinder packages.	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	fumigating agent	-	< 15min	Yes	20	H330 Fatal if inhaled H370 Causes damage to organs H373 May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure	-	72	28	72	high hazard: fatal by inhalation uncertainty exposure
81	Paper manufacturing sector	Paper manufacturer	addition of surfactant in the preparation of paper pulp for special papers	dispersive	not operative	operative	indoors	operative (type not specified)	surfactant		< 15min	yes	20	H318 Causes serious eye damage.	-	21	21	79	low hazard: ocular corrosive high exposure: dispersive process with ventilation but no collection system and no individual equipment
82	Maintenance and control sector	Service provider	filling the anti-algae product tank in the automatic filtration system of an indoor pool	open	not operative	operative	indoors	not operative	anti algae	20L	< 15min	yes	30	None	-	30	20	80	Medium hazard and low exposure (ventilation and individual protection)
83	Cleaning sector	service provider	room cleaning	open	not operative	not operative	indoors	not operative	floor cleaner	-	> 4h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation EUH 208	-	26	22	78	low hazard but high exposure

84	building and construction sector	masonry	Weighing and preparation of putty to fill the holes in the wall.	open	fume cupboard	operative	indoors	not operative	solvent	<1 kg	15min - 1h	Yes	20	H361 Suspected of damaging fertility or the unborn child H373 May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure H304 May be fatal if swallowed and enters airways H336 May cause drowsiness or dizziness.		32	18	82	high hazard due to the product classified H361, H373 and H304 Low exposure : fume cupboard and low daily amount	
85	Health sector	medical analysis laboratory	Use of reagent for HPLC chromatography	open	fume cupboard	operative	indoors	not operative	extraction solvent	-	> 4h	yes	20	H351 Suspected of causing cancer H373 May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure	-	34	21	79	Solvent with high hazard because it is classified H351 et H373 low exposure : use of ventilation and fume cupboard	
86	leather sector	leather industry	dyeing of small leather parts with a dye applied with a sprayer	dispersive	extraction slit	operative	indoors	not operative	leather dye	-	1h - 4h	yes	20	H319 Causes serious eye irritation H361 Suspected of damaging fertility or the unborn child	-	51	24	76	high hazard : product classified H361 Medium exposure spray paint, but a collection system and a ventilation are used	
87	Tannery and leather sector	Tannery and leather goods industry	task of loading the washing machine with the product to remove the last traces of tank on the skin	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	pre-tanning agent	-	15min - 1h	Yes	20	H302 Harmful if swallowed H332 Harmful if inhaled H334 May cause allergy or asthma symptoms of breathing difficulties if inhaled. H335 May cause respiratory irritation.	-	65	24	76	medium hazard uncertainty on exposure	

88	manufacture of composite parts sector	Company of manufacture of composite parts	applicati n of gel- coat on a pool mould	dispersive	booth	operativ e	indoors	operative (type not specified)	gel coat	None	> 4h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation H361 Suspected of damaging fertility or the unborn child H372 Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure	-	39	21	79	high hazard du to the product classified H319, H361 and H372 low exposure : booth , ventilation and individual protective equipment
89	Metalworking sector	Metalworking company	cold rolling of copper tubes: stretching and setting to the right diameter	open	not operative	operativ e	indoors	not operative	rolling lubrican t	-	1h - 4h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation	-	24	21	79	low hazard and high exposure (open process with only ventilation)
90	Surface care and treatment sector	Service provider	Adjusting the viscosity of the paint with a solvent	open	fume cupboard	operativ e	indoors	operative (type not specified)	solvent	-	15min - 1h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation	-	21	19	81	medium hazard : irritant product low exposure : open process, use of a fume cupboard and individual equipment + medium volatility
91	Maintenance and control sector	Service provider	Quality control of chlorinate d water using a reagent	Open	fume cupboard	operativ e	indoors	not operative	reagent	< 1g	> 4h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation H335 May cause respiratory irritation.	-	18	17	83	medium hazard and low exposure
92	Surface care and treatment sector	Impregnation of wood and brick surfaces	Manual applicati on of biocide on old frames	open	not operative	not operativ e	indoors	not operative	xylo- protecto r	> 20l	> 4h	Yes	20	None	-	53	26	74	High hazard : STOT product average exposure : bruch painting, open process and no LEV
93	Surface care and treatment sector	Service provider	Manual chemical stripping of antifoulin g on a boat	Open	not operative	not operativ e	indoors	operative (type not specified)	Antifouli ng stripper	None	> 4h	Yes	20	Flammable and harmful to aquatic organisms	-	27	18	82	low hazard medium exposure: application of the paint with a paintbrush close to the respiratory tract but use of ventilation and individual protection

94	laundry services sector	laundry service provider	Dry cleaning	enclosed but regularly open	not operative	operative	indoors	not operative	textile cleaning product	-	> 4h	yes	20	None	-	37	19	81	medium hazard and low exposure	
95	Automotive sector	a manufacturer of scooter accessories.	modelling	open	not operative	not operative	indoors	not operative	styrene resin	-	15min - 1h	Yes	20	H319 Causes serious eye irritation. H361d Suspected of damaging the unborn child. H335 May cause respiratory irritation. H372 Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure.	-	71	25	75	high hazard and high exposure	
96	Automotive sector	a manufacturer of scooter accessories.	part modelling	open	not operative	not operative	indoors	not operative	-	-	15min - 1h	-	-	-	Dust	56	23	77	high hazard due to the dust high exposure : dispersive process, without collection system	
97	railway sector	railway seat manufacturing company	gluing	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	glue	-	< 15min	Yes	20	H335 May cause respiratory irritation	-	58	23	77	medium hazard and high exposure	
98	railway sector	railway seat manufacturing company	gluing	dispersive	not operative	not operative	indoors	not operative	glue	-	< 15min	Yes	20	H335 May cause respiratory irritation	-	58	20	80	medium hazard and high exposure	
99	Metalworking sector	Metalworking company	metal degreasing with acid	dispersive	not operative	operative	indoors	operative (type not specified)	degreaser	10L	1h - 4h	Yes	20	H302 Harmful if swallowed H332 Harmful if inhaled.	-	51	22	78	medium exposure : dispersive process but use of ventilation and individual protection	
100	Metalworking sector	metalworking company	chemical degreasing	dispersive	not operative	operative	indoors	operative (type not specified)	neutralizing agent	10L	1h - 4h	yes	20	None	-	41	19	81	low hazard and medium exposure (dispersive process but use of protective equipment)	
101	Metalworking sector	metalworking company	chemical degreasing	dispersive	not operative	operative	indoors	operative (type not specified)	metal detergent	10L	1h - 4h	yes	20	None	-	47	17	83	medium hazard and exposure	

Table 2. Description of columns of Table 1

Company's activity	The general activity of the company/industry of origin of the work situation(s)
Task	the name/description of the task performed
Type of process used	<p>The types of processes are defined from the European technical guidance document on risk assessment (19)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dispersive: Any process which by the energy deployed or the absence of containment generates emissions into the working atmosphere. - Open: Any process where the material is localized without specific dispersion but which does not have specific containment - Enclosed but regularly opened: Any process which is confined but which can be opened during filling, emptying or control phases - Enclosed: any process that is completely contained.
Collection système + the type if existing	<p>In case the task is performed indoors, the presence of a ventilation or collection system helps reduce the level of exposure to chemicals. The different modalities are</p> <ul style="list-style-type: none"> · Operative/ not operative general ventilation, · The use or not of a collection with the type (e.g. fume cupboard, booth) if specified
General ventilation	
Outdoors/indoors work	
Individual protection	The use of an individual protection helps to refine the level of risk especially when the use of collective equipment is insufficient to allow a sufficient protection.
Product	Substances included in the product when explicitly mentioned
Daily amount of the product	It is given when it is mentioned in the original report; it corresponds to the quantity of the product used on one day.
Duration	It is given when it is mentioned in the original report
Temperature of use	It has been estimated when it is possible
SDS	whether or not there is an SDS for the product used
Hazard statements according to the CLP regulation (inhalation route)	the hazard statements (CLP) related to the product used obtained from the SDS
Chemicals emitted during the process	Names of chemical emitted during the processes
Risk level	Represented by the arithmetic mean of the final distribution of scores given by the experts. To simplify the description, the level of risk can be considered as low, medium or high according three levels 0-33 (green), 34-66 (orange) and 67-100(red), respectively.
Variability (%)	Represented by the standard deviation of the scores given by the experts. The smaller the standard deviation, the less variability in risk assessment, the better the agreement between experts.
Confidence (%)	This indicator is determined by the difference between the maximum confidence value (100) and the average size of the ranges given by all experts on the situation, which represents the level of mistrust of the experts about the defined score. For example, for work situation with the arithmetic mean of the ranges' size of 20, the confidence level is 80%.
Supporting comments	justification of the level of risk assessed
Seirich risk score	<p>For reasons of confidentiality, the Seirich scores are presented in color.</p> <p>Red: very high risk Orange: high risk Green: moderate risk</p>

Annexe 3. Rapport de synthèse du premier tour d'expertise

Abir AACHIMI

Responsables d'étude : *Frédéric CLERC et Florian MARC (INRS)*

Directrice académique : *Nathalie BONVALLOT (EHESP)*

RAPPORT DE SYNTHÈSE DU PREMIER TOUR D'EXPERTISE AMÉLIORATION DES ALGORITHMES DE SEIRICH

D'abord, nous remercions toutes les personnes qui ont participé à cette expertise. Les résultats obtenus sont très utiles pour le projet d'amélioration du logiciel Seirich. Ces résultats vont donc faire objet d'une publication scientifique.

Contexte de l'étude

En 2019, l'INRS a engagé une étude longue qui a comme objectif l'amélioration de la méthodologie du logiciel Seirich et le renforcement de son statut de méthode de référence en France. L'étude comporte trois grandes phases :

- > Construction d'une liste de situations de travail, appartenant aux secteurs d'activité français et présentant des risques chimiques importants. Ces situations de travail seront associées à un niveau de risque chimique établi par expertise : c'est l'objet de ce rapport.
- > Analyse comparative de l'évaluation des risques établies par l'expertise (étape 1) avec celle produite par Seirich pour chaque situation de référence, et compréhension des écarts pour amélioration des algorithmes du logiciel.
- > Mise en perspective de Seirich avec les autres méthodologies européennes.

Etape 1 : Construction de la liste des situations de référence - expertise

I. Méthode

1. Identification des situations de travail

Un total de 88 situations de travail détaillées a été sélectionné pour l'expertise. Une partie provient de l'analyse de 56 mémoires de préventeurs des services régionaux de prévention des caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (63 situations de travail) et l'autre partie de l'expertise interne INRS (25 situations de travail).

2. Expertise

La méthode d'expertise utilisée dans cette étude est similaire la méthode de Delphes. C'est une technique d'expression collective et ordonnée pour la résolution de problématiques fondée sur la réalisation de plusieurs cycles d'expertises jusqu'à ce qu'un consensus soit atteint au sein du groupe d'experts.

Pour le premier tour d'expertise, 41 experts de différents profils, ont été sollicités pour réaliser l'évaluation du risque des situations de travail. Le tableau 1 représente les données de participation.

Tableau 1 : participation des experts à l'évaluation

Affiliation	Nombre d'expertises sollicitées	Rendue
Services régionaux de prévention des caisses d'assurance retraite et de la santé au travail	22	8
INRS	17	16
Hors réseau prévention	2	1
Total	41	25

Les experts ont été sollicités pour évaluer chaque situation de travail en définissant un niveau de danger, d'exposition et enfin **un niveau de risque**. Le niveau de risque devrait être exprimé en intervalle de valeurs allant de zéro (risque faible) à 100 (risque très élevé).

3. Agrégation des niveaux de risque obtenu

Cette étape consiste à agréger les niveaux de risque définis par les experts, pour arriver à un niveau de risque final pour chaque situation de travail. Une méthode probabiliste a été utilisée pour la fusion des différentes expertises et le calcul les indicateurs. Les différents indicateurs calculés désignent :

- Pour chaque situation :
 - **Le niveau de risque agrégé**, indique le niveau de risque considéré pour chaque situation issu de l'ensemble des expertises.
 - **La dispersion** entre les interprétations des experts, définie par l'écart type des scores attribués. Plus l'écart type est faible, moins l'évaluation de risque est dispersée et plus les experts sont d'accord entre eux.
 - **Le niveau d'incertitude par situation**, défini par la taille moyenne des intervalles donnés par tous les experts sur la situation. Plus cette taille est faible, plus les experts ont confiance en le niveau de risque.
- Pour chaque expert :

- **Le niveau de protection**, défini par la moyenne des scores de risque attribués pour chaque situation expertisée. Plus cette moyenne est élevée, plus l'expert attribue un niveau de risque élevé et ainsi semble plus « protecteur ».
- **Le niveau d'incertitude par expert**, déterminé par la taille moyenne des intervalles donnés par l'expert à l'ensemble des situations de travail. Plus cette taille est faible, plus l'expert a confiance en le niveau de risque qu'il a donné.

II. Résultats

1. Niveau de risque agrégé des situations

Les résultats montrent que 50 % des situations de travail présentent un niveau de risque agrégé compris entre 40 et 60. La répartition des situations de travail selon leurs scores de risque agrégés est représentée dans le tableau 2. Aucune des situations de travail n'a un score de risque agrégé strictement de 0 et aucune d'entre elles n'a un score de risque agrégé strictement de 100.

Tableau 2 : répartition des situations de travail selon leur score de risque agrégé

Score de risque agrégé	Nombre de situations de travail
[0-20[	0
[20-40[	16
[40-60[	44
[60-80[	24
[80-100]	4

2. Dispersion des niveaux de risque par situation

Les résultats de la dispersion des scores de risque pour chaque situation sont représentés dans la figure 1.

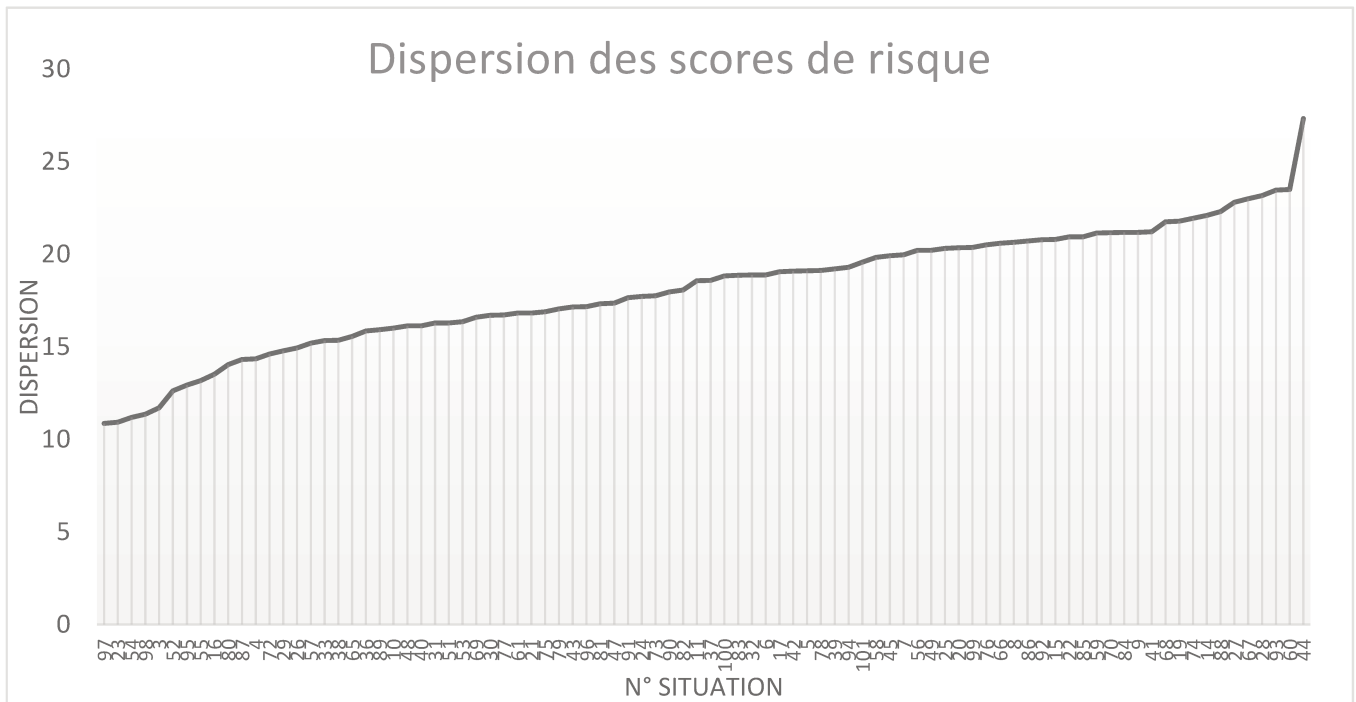


Figure 1 : dispersion des niveaux de risque par situation

Les situations de travail sont classées par ordre croissant de dispersion selon les scores renseignés par chaque expert. Le détail des situations avec les plus grandes dispersions est présenté dans la présentation jointe avec ce fichier.

3. Niveau d'incertitude par situation

Les résultats des niveaux d'incertitude des évaluations de risque sont représentés dans la figure 2.

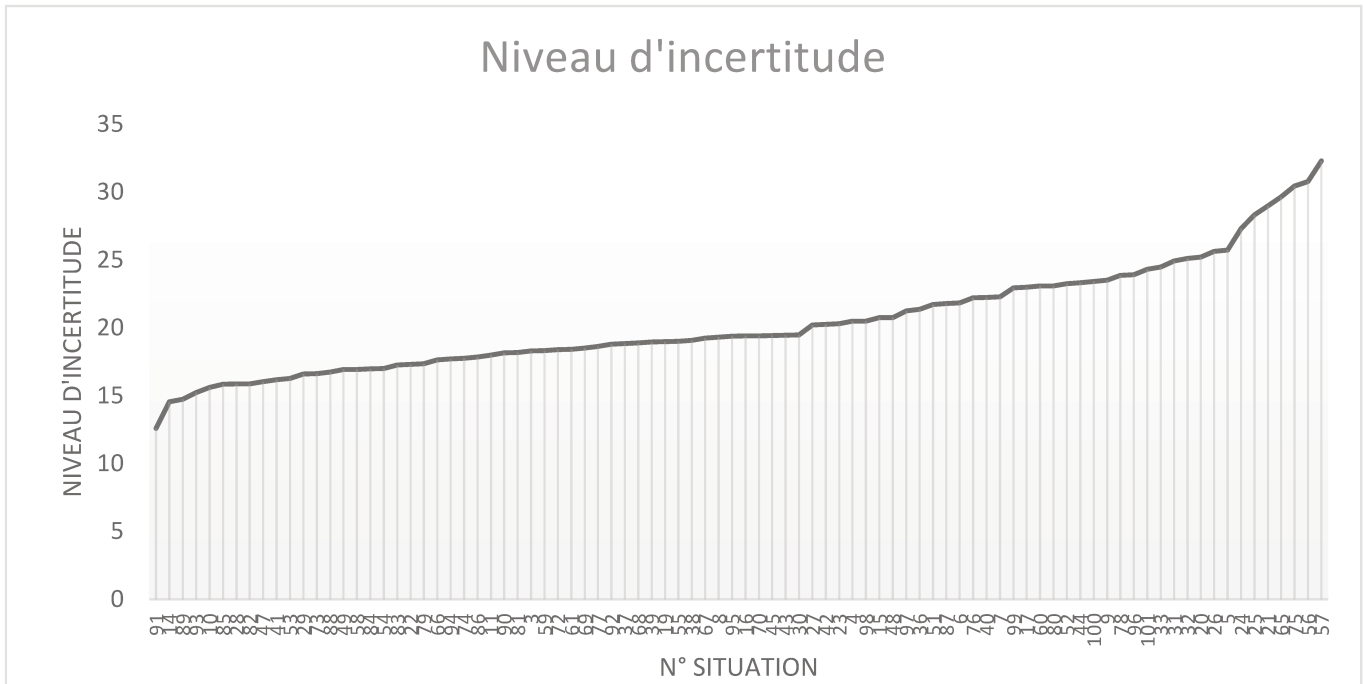


Figure 2 : niveaux d'incertitude des évaluations de risque

Les situations de travail sont classées par ordre croissant d'incertitude. Le détail des situations avec le plus grand niveau d'incertitude est présenté dans la présentation jointe avec ce fichier.

4. Niveau de protection et d'incertitude des experts

Les résultats des deux indicateurs sur le niveau de protection et d'incertitude pour chaque expert sont présentés dans la figure 3.

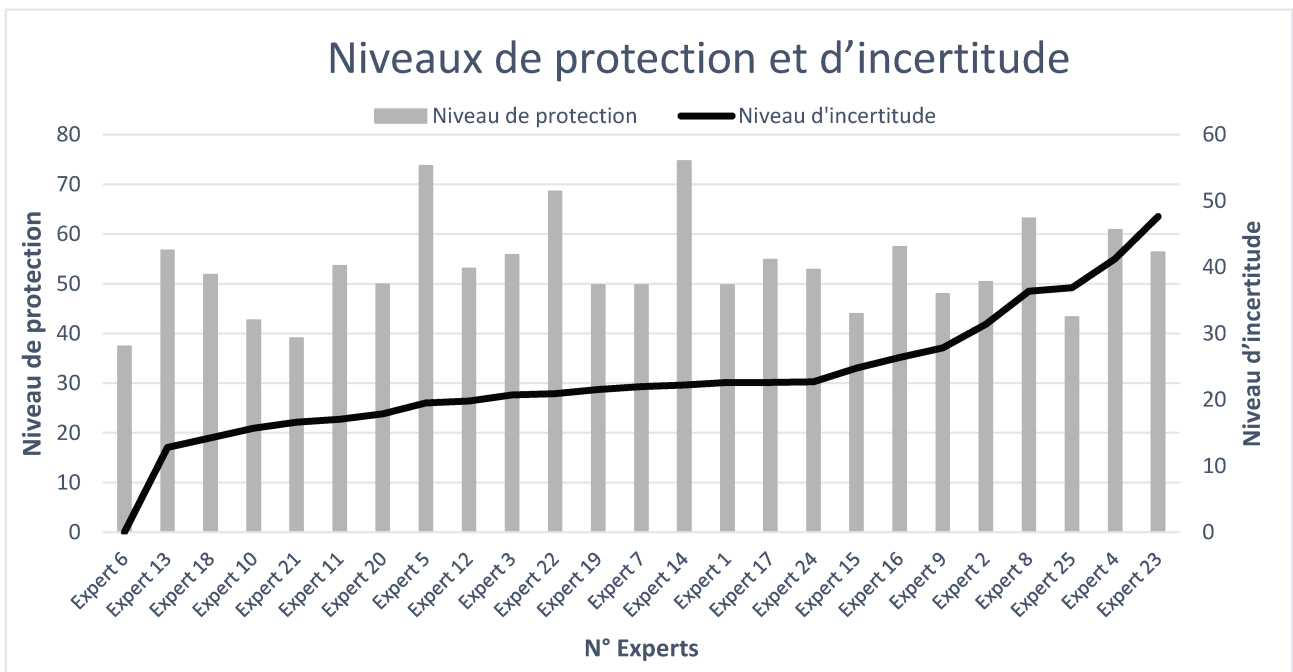


Figure 3 : niveaux de protection et d'incertitude pour chaque expert

Les experts n° 5, 22 et 14 ont un niveau de protection plus élevé avec un score moyen de risque pour l'ensemble des situations supérieur à 68, tandis que les experts n° 6 et 21 ont un niveau de protection plus faible avec un score moyen inférieur à 40.

Les experts ont des niveaux d'incertitude variables avec une majorité se situant autour d'une taille de 20. L'expert n°6 a indiqué des scores sans utiliser d'intervalle, donc son niveau d'incertitude est de zéro. Les experts 4 et 23 sont plutôt moins confiants dans leurs expertises avec des tailles moyennes d'intervalles supérieures à 40.

5. Conclusions

D'après les résultats obtenus, nous considérons que la plupart des experts, ont été plutôt protecteurs avec des niveaux d'incertitude faibles.

D'après les résultats d'évaluation de risque par situation, nous considérons un consensus global **améliorable** entre les experts. En effet, la majorité des situations de travail ont un niveau de dispersion inférieur ou égale à 20. Les situations qui présentent un niveau de dispersion supérieur à 20 sont souvent associées à des commentaires mentionnant le manque de données précises sur la description de la situation ainsi que celle des dangers.

De plus, pour plus de 50 % des situations de travail, le niveau d'incertitude, est inférieur ou égal à 20. Les situations avec un niveau d'incertitude supérieur à 20 sont souvent associées à des commentaires indiquant le manque de données précises la situation de travail ainsi que celle des dangers.

6. Perspectives

Afin d'**améliorer** le consensus entre les experts, un deuxième et dernier tour d'expertise a été demandé. Il a pour objectif la révision du niveau de risque pour chaque situation de travail en connaissance du risque agrégé défini par tous les experts. Cela permettrait d'avoir des niveaux de risque plus fiables avec des niveaux de dispersion réduits.

Après avoir obtenu tous les résultats, une comparaison entre l'évaluation de risque des experts et celles de Seirich sur toutes les situations de travail sera faite. Ceci permettra d'identifier les écarts dans les algorithmes du logiciel, pour enfin proposer des améliorations de ces algorithmes.

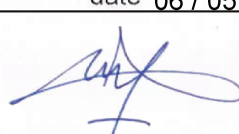
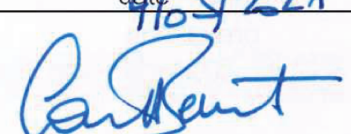
Annexe 4. Rapport de synthèse du deuxième tour d'expertise et comparaison des résultats à Seirich

DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Rapport de synthèse

Réf. L/MP/2021.060

Date/Lieu	29/03/2021
Destinataire(s)	Experts INRS , Experts CARSAT , Ingénieurs conseil régional
Objet	Rapport de synthèse : amélioration des algorithmes de Seirich
Contact	Abir AACHIMI – abir.aachimi@inrs.fr
N/Références	Frédéric CLERC (INRS/MP), Florian MARC (INRS/ECT), Stéphane MIRAVAL(INRS/ECT) et Nathalie BONVALLOT (EHESP)

VALIDATION		
	Responsable du rapport	Chef du Département
Nom	Abir AACHIMI	Benoît COURRIER
Date	date 06 / 05 / 2021	date 10/5/2021
Signature		

Diffusion interne P/ECT/M. Ricaud - L/TB/B. La Rocca - P/ECT/A. Maison - P/FOR/L. Bodin - P/ECT/A. Guilleux - P/ECT/B. Courtois - P/ECT/C. Patrascu - L/IP/F. Zimmermann - P/FOR/G. Avon - L/MP/G. Mater - P/EAM/L. Coates - P/ECT/P. Serre

Diffusion externe Nathalie Bonvallot/EHESP, Pascale Barbillon/Carsat NE, Agnès Janès/Cramif Anne-Laure Pasini/Carsat RA, Vincent Clamagirand/Carsat Bretagne, Emmanuel Jouve/Carsat Bretagne, Karl Thevenot/Carsat Centre, Martine Goliro/Carsat MP, Stéphane Alonso/Carsat RA, Annick Minatchy-Celma/CGSS Guadeloupe, Jean-Christophe Dulin/CGSS Guyane, Xavier Farel/CGSS La Réunion, Julien Jacques/CGSS Martinique, Luc Dreuil/Carsat AM, Patrick Bardet/Carsat Aquitaine, Fabienne Ploton/Carsat Auvergne, Marc Duchet/Carsat BFC, Marie-Laure De Bonneval/Carsat Bretagne, Jean Beaumont/Carsat Centre VL, Jean-Michel Jorland/Carsat CO, François Blanchard/Cramif, Alexis Guilhot/Carsat LR, Denis Garin/Carsat MP, François Gobillard/Carsat NE, Laurent Huglo/Carsat HF, Arnaud Asselin/Carsat PL, Jérôme Chardeyron/Crasat RA ; Jean-François Adam/Carsat SE

Le présent document ne peut être reproduit sans l'approbation écrite de l'INRS. La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. L'INRS décline toute responsabilité quant à l'utilisation qui pourra être faite de ce document par les destinataires.
Les résultats ont pu être obtenus dans des conditions particulières spécifiques à l'objet de la demande. Ils sont destinés à l'usage exclusif du demandeur dans un but de prévention des maladies professionnelles. Toute communication à des tiers nécessite l'approbation préalable de l'INRS.

Ce rapport comporte 18 pages.

Une liste de 88 situations de travail (voir Annexe) a été constituée. Ces situations ont été choisies car elles exposent à différents types de risques chimiques par voie d'inhalation. Entre aout 2020 et janvier 2021, 41 experts ont été sollicités pour attribuer un score de risque à chacune de ces situations. Ce score de risque consensuel inter-experts est compris entre 0 et 100 et accompagné d'une incertitude. Le score de risque « expert » est comparé au score de risque de chaque situation, calculé par le logiciel Seirich et les différences sont discutées. Ce rapport présente les résultats de ces travaux, qui feront également l'objet d'une publication scientifique en 2021.

1 Expertise

1.1 Méthode

Selon la méthode Delphes (1), deux tours d'évaluation ont été réalisés par les experts. Sur les 41 experts sollicités, 25 experts ont répondu lors du premier tour, puis 17 experts ont répondu pour le second tour (voir tableau 1). Lors du 2^{ème} tour, les experts avaient à leur disposition le niveau moyen défini par l'ensemble des experts. Ce 2^{ème} tour permet de préciser certains niveaux de risque et d'obtenir, si nécessaire, des dispersions plus faibles.

Le document fourni aux experts pour ce 2^{ème} tour est un fichier Excel qui comprend, en plus des situations de travail, le score moyen de risque pour chaque situation de travail, la dispersion, ainsi que l'incertitude pour chaque situation de travail, obtenus au 1^{er} tour. Un bref résumé des commentaires est également ajouté.

Tableau 1 : participation des experts à l'évaluation du risque au premier et au deuxième tour

Affiliation	Tour 1		Tour 2	
	Nombre d'experts sollicités	Nombre d'expertises rendues	Nombre d'experts sollicités	Nombre d'expertises rendues
CARSAT/ CRAMIF	22	8	8	6
INRS	17	16	12	10
Hors réseau prévention	2	1	1	1
Total	41	25	21	17

- Une méthode probabiliste d'agrégation des scores utilisée pour le premier tour d'expertise a été également appliquée pour ce deuxième tour et les mêmes indicateurs ont été calculés. Pour chaque situation :
 - **Le score de risque agrégé** issu de l'ensemble des expertises, indique le niveau de risque considéré pour chaque situation de travail.
 - **La dispersion** entre les interprétations des experts, définie par l'écart type des scores attribués. Plus l'écart type est faible, moins l'évaluation de risque est dispersée et plus les experts sont d'accord entre eux.
 - **Le niveau de confiance par situation**, défini par la taille moyenne des intervalles donnés par tous les experts sur la situation. Plus cette taille est faible, plus les experts ont confiance dans le score de risque qu'ils ont proposé.
 - **Le niveau d'incertitude**, combine la confiance et la dispersion, il est défini par un intervalle de confiance à 50% sur le score de risque agrégé, calculé par tirage de Monte-Carlo.

- Pour chaque expert :
 - **Le Score moyen par expert**, défini par la moyenne des scores de risque attribués à l'ensemble des situations de travail. Plus cette moyenne est élevée, plus l'expert attribue un score de risque élevé et ainsi il est plus « protecteur ».
 - **Le niveau de confiance par expert**, déterminé par la taille moyenne des intervalles donnés par l'expert à l'ensemble des situations de travail. Plus il est faible, plus l'expert a confiance dans le score de risque qu'il a proposé.

1.2 Résultats d'expertise

a. Score de risque agrégé des situations de travail

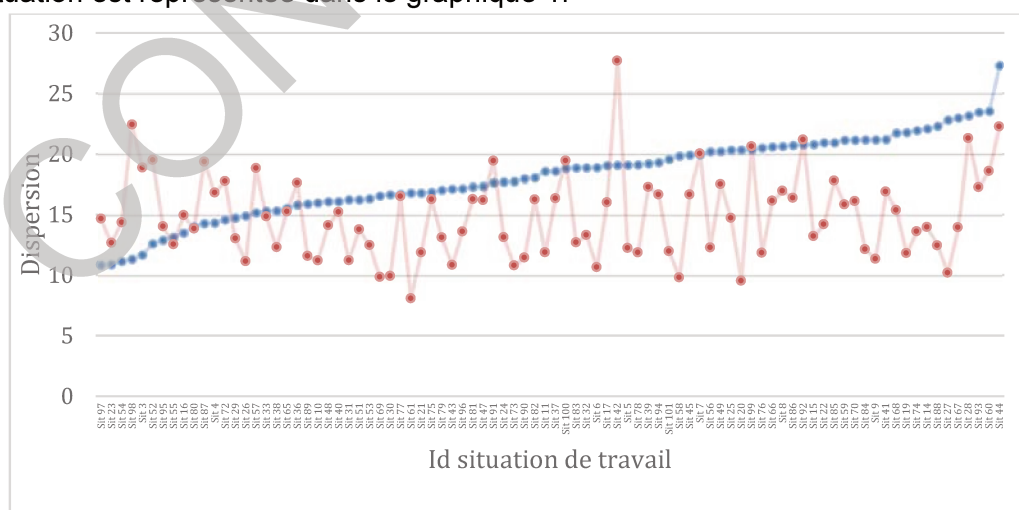
Les résultats montrent que pour les 2 tours, 50 % (44 et 43 sur 88 situations, respectivement pour le 1^{er} et le 2^{ème} tour) des situations de travail présentent un score de risque agrégé compris entre 40 et 60. La répartition des situations de travail selon leurs scores de risque agrégés entre le premier et le deuxième tour est représentée dans le tableau 2. Au 2^{ème} tour, 27 % des situations présentent un score de risque agrégé inférieur à 40 (24 sur 88) et 24 % avec un score de risque supérieur à 60 (21 sur 88).

Tableau 2 : répartition des situations de travail selon leur score de risque agrégé

Score de risque agrégé	Nombre de situations de travail – tour 1	Nombre de situations de travail – tour2
[0-20[	0	2
[20-40[	16	22
[40-60[	44	43
[60-80[	24	16
[80-100]	4	5

b. Dispersion des niveaux de risque par situation

La comparaison des dispersions au tour 1 et au tour 2 des scores de risque pour chaque situation est représentée dans le graphique 1.

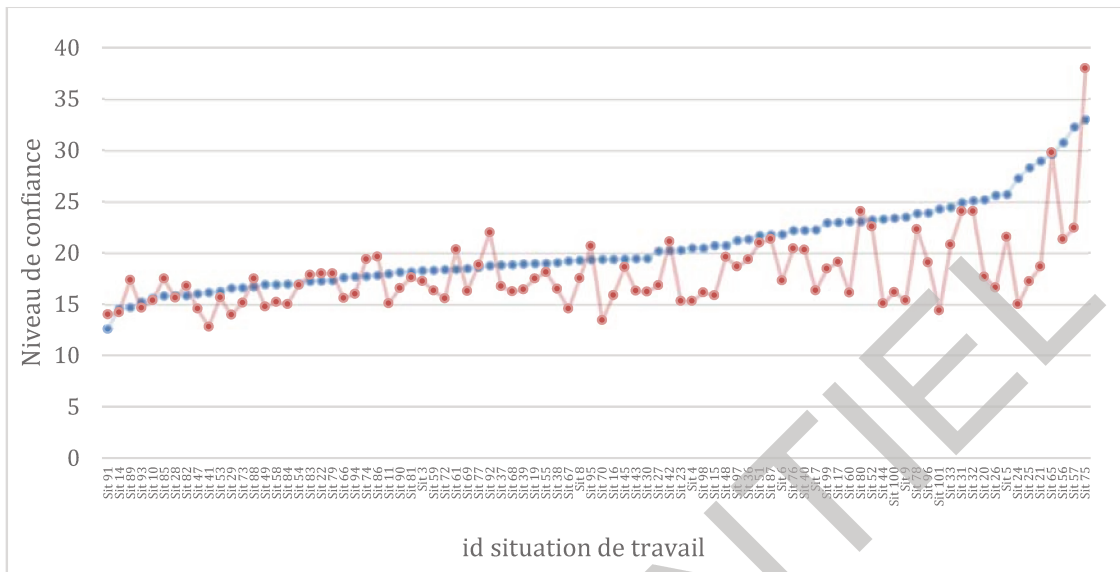


Graphique 1 : comparaison des niveaux de dispersions (tour 1, en bleu et tour 2, en orange)

Les situations de travail sont classées par ordre croissant de dispersion pour le premier tour. **Une diminution** de la dispersion moyenne du deuxième tour a été constatée; passant d'un écart-type des scores de 18 pour le tour 1 à 15 pour le tour 2.

c. Niveau de confiance par situation

La comparaison des niveaux de confiance pour le premier et le deuxième tour est représentée dans le graphique 2.

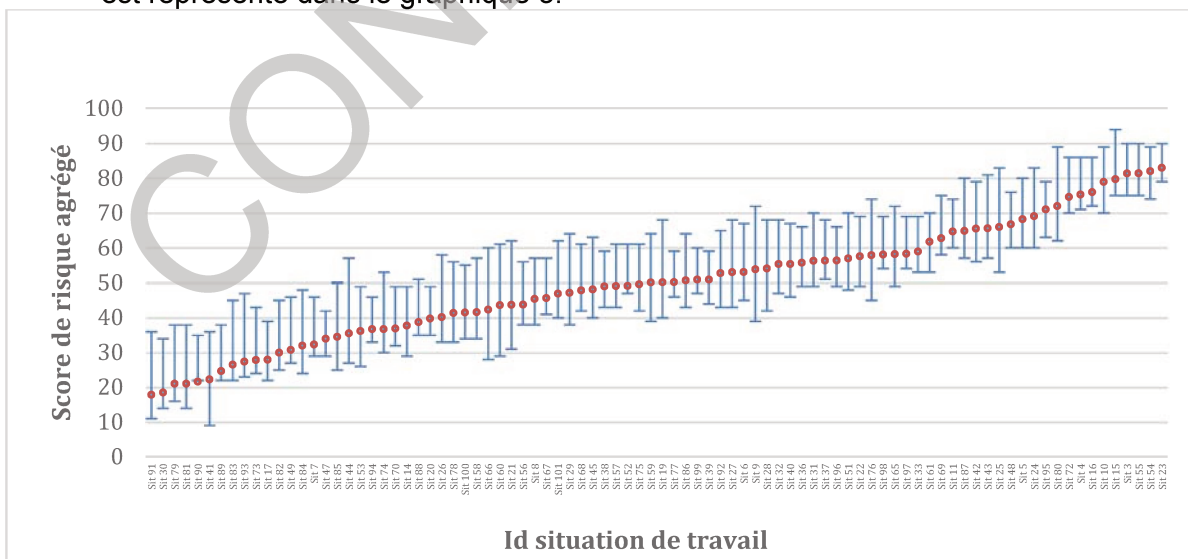


Graphique 2 : comparaison des niveaux de confiance (tour 1 en bleu, et tour 2, en orange) associées aux évaluations de risque

Les situations de travail sont présentées avec leurs scores de confiance pour le 1^{er} et le 2^{ème} tour. Ils sont définis par la taille moyenne des intervalles de scores. Une amélioration du niveau de confiance a été constatée au 2^{ème} tour, passant d'une taille moyenne des intervalles de scores de 20 à 18.

d. Score de risque agrégé avec le niveau d'incertitude associé par situation

Le score de risque agrégé associé au niveau d'incertitude pour chaque situation de travail est représenté dans le graphique 3.

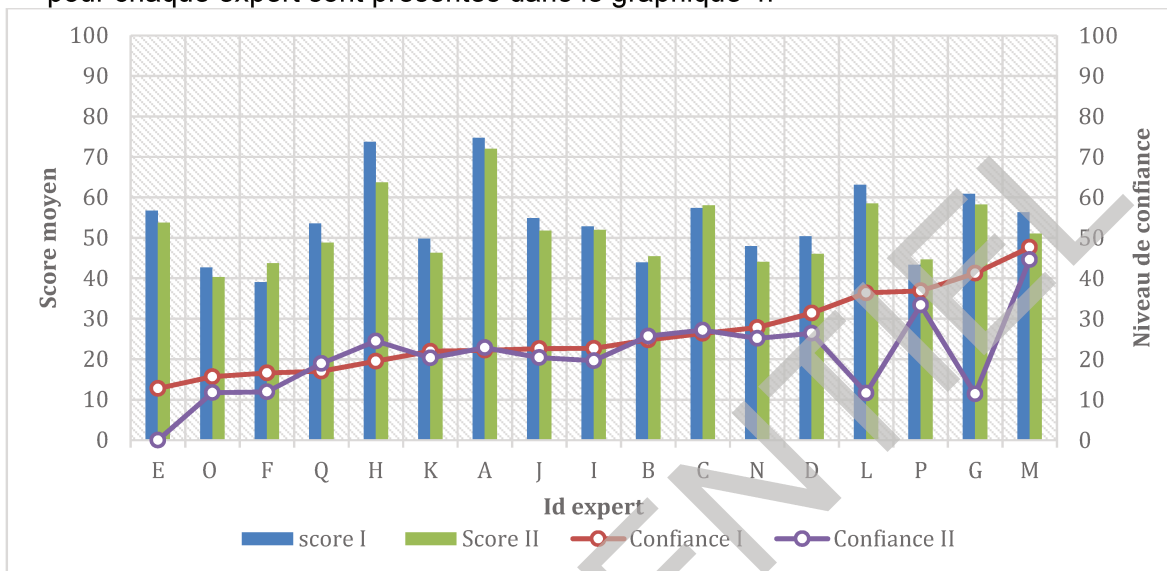


Graphique 3 : représentation des scores de risque agrégés associés aux niveaux d'incertitude pour chaque situation de travail.

Dans le graphique 3, Les situations de travail sont représentées en ordre croissant selon leurs scores de risque agrégés. Tous les scores de risques sont associés à un intervalle qui représente le niveau d'incertitude lié au score établi.

e. *Comparaison des scores moyens et de la confiance des experts*

Les résultats de comparaison entre les tours 1 et 2 du score moyen et du niveau de confiance pour chaque expert sont présentés dans le graphique 4.



Graphique 4 : comparaison du score moyen et du niveau de confiance pour chaque expert entre le premier et le deuxième tour

Le graphique 4 montre que 76 % des experts (14 sur 17) ont des scores moyens au deuxième tour inférieurs à ceux établis au premier tour.

Une amélioration du niveau de confiance a été constatée au deuxième tour pour la plupart des experts. Les experts gardent néanmoins des niveaux de confiance variables avec une majorité d'entre eux définissant un score de risque sous forme d'intervalles d'une taille moyenne de 21. L'expert « E » a indiqué des scores sans utiliser d'intervalle, donc son niveau de confiance est maximum. Les experts « P » et « M » sont plutôt moins confiants dans leurs expertises avec des tailles moyennes d'intervalles supérieures à 30 pour les deux tours.

f. *Conclusions sur l'expertise*

D'après les résultats d'évaluation de risque par situation, un consensus global entre les experts pour les deux tours est admis. Une diminution de la dispersion moyenne (écart-type des scores) du deuxième tour a été constatée. En effet, la majorité des situations de travail ont un niveau de dispersion inférieur ou égal à 15 (20 au premier tour). Les situations qui présentent un niveau de dispersion supérieur à 15 sont celles associées à des commentaires mentionnant un manque de données précises sur la description de la situation en terme de procédé, d'exposition et/ou de dangers.

De plus, une amélioration du niveau de confiance (taille moyenne de l'intervalle des scores) a été constatée au deuxième tour. Les situations avec taille moyenne de l'intervalle des scores supérieurs à 20 sont soit associées à des commentaires mentionnant le manque de données précises sur la description de la situation en terme de procédé, d'exposition et/ou les dangers, soit à des commentaires où les experts se jugent non sûrs de leurs évaluations vis-à-vis de la situation.

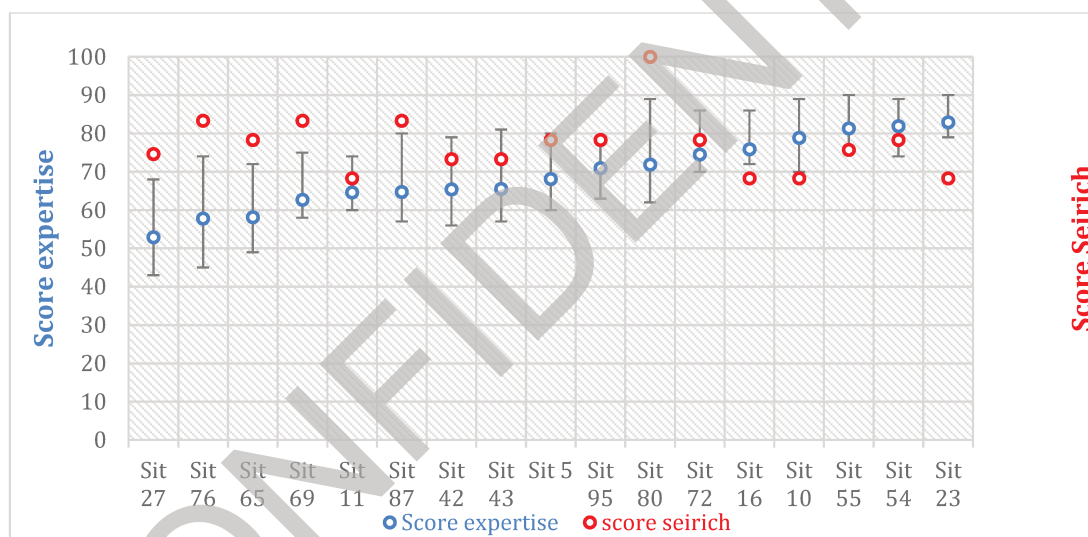
L'incertitude qui combine confiance et dispersion a été définie de manière à être très exigeante vis-à-vis de la comparaison avec les scores de Seirich. Plus le niveau de l'intervalle de confiance est bas, plus l'intervalle sera réduit autour du score moyen issu des expertises. La valeur de 50% a été choisie arbitrairement, elle correspond au concept que la moitié des experts sont d'accord pour placer le score de risque dans les bornes. Par exemple, la situation n° 27 présente un score de 53 et la moitié des experts considèrent qu'il se situe entre 43 et 68 (bornes de l'incertitude).

2 Comparaison des évaluations obtenues avec l'expertise et le logiciel Seirich

2.1 Comparaison entre les scores de Seirich et ceux de l'expertise

Une comparaison entre les scores de Seirich et ceux de l'expertise collective a été réalisée pour toutes les situations de travail.

Le graphique 5 représente la comparaison entre les deux scores (expertise versus Seirich) pour les situations avec un niveau de risque qui a été considéré comme très élevé par Seirich (niveau rouge). Le score d'expertise est représenté sous la forme d'un intervalle qui représente le niveau d'incertitude calculé.



Graphique 5 : comparaison entre les scores obtenus par l'expertise et ceux obtenus par le logiciel Seirich pour les situations de travail avec un niveau de risque Seirich très élevé.

Une situation est jugée « cohérente » lorsque le score obtenu par le logiciel Seirich se situe dans l'intervalle du score obtenu par l'expertise avec incertitudes.

A partir de cette définition de la cohérence, d'après le graphique 5, sur les 17 situations de travail, 8 d'entre elles ont été jugées cohérentes, et 9 d'entre elles ont été jugées non cohérentes, avec 6 situations ayant un score Seirich plus élevé et 3 situations ayant un score Seirich moins élevé. Pour ces situations à risque très élevé, on peut donc en déduire que le logiciel Seirich a un niveau de protection supérieur.

Cet exercice a également été mené sur les situations de travail qui ont été considérées comme ayant un niveau risque Seirich modéré (vert) d'une part et élevé (orange) d'autre part. Le tableau 3 représente les résultats de cohérences pour les deux groupes de situations de travail.

Tableau 3 : Nombre de situations cohérentes et non cohérentes pour les situations avec un niveau risque Seirich modéré (vert) et élevé (orange)

Situations avec niveau de risque Seirich élevé			Situations avec niveau de risque Seirich modéré		
Situations cohérentes	Situations non cohérentes		Situations cohérentes	Situations non cohérentes	
	score Seirich > score expertise	score Seirich < score expertise		score Seirich > score expertise	score Seirich < score expertise
31	9	11	7	0	11

D'après le tableau 3, nous constatons que le logiciel Seirich a un niveau de protection inférieur à celui des experts pour les situations de travail mentionnées (22 situations parmi les 31 ont un score Seirich inférieur au score d'expertise).

Sur la totalité des situations de travail, les résultats montrent que 46 situations sont cohérentes entre Seirich et l'expertise, 15 situations ont un score Seirich plus élevé que celui des experts, et 25 situations ont un score Seirich moins élevé que celui des experts.

2.2 Analyse des situations non cohérentes

Chaque situation non cohérente a été étudiée de manière approfondie pour comprendre l'origine de l'incohérence : le procédé mis en œuvre, les dangers mentionnés, les paramètres en lien avec l'exposition ont été étudiés.

Suite à l'analyse de ces situations, il ressort que les situations non cohérentes correspondent à :

- Des situations de travail dont les dangers sont des sensibilisants respiratoires, des irritants oculaires ou des irritants respiratoires. D'après les niveaux de risque obtenus, Seirich est plus conservateur que les experts pour ces situations.
- Des situations de travail dont les dangers sont les agents chimiques émis : fumées de soudage et particules. D'après les niveaux de risque obtenus, les experts sont plus conservateurs que Seirich pour ces situations.
- Des situations de travail où une différence de prise en compte des performances de certains types de captage utilisés a été constatée entre les experts et Seirich. En effet, le logiciel Seirich est plus conservateur que les experts pour les situations où le captage de « type cabine ventilée avec filtre à air insufflé » est utilisé. Cependant, Seirich est moins conservateur concernant les situations utilisant un captage de type « sorbonne ».
- Des situations de travail où le volume et la surface de la zone de travail ont été pris en considération par les experts pour évaluer le niveau de risque. Ces deux paramètres ne font pas partie de ceux retenus pour la méthode utilisée dans le logiciel Seirich, même s'ils peuvent influencer sur le niveau de risque.

Citation :

1. Technique de Delphes : trouver une réponse à l'unanimité [Internet]. [Cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/dossiers-methodes/technique-de-delphes>

3 Annexe : Liste des situations de travail

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
CARSAT/CRAMIF	Stockage	clos	absence	absence	non	absence	solvants ; nettoyants ; huiles ; etc.	-	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Nettoyage de pièces volumineuses	ouvert	absence	absence	non	absence	détergent	-	oui
INRS	Décapage chimique manuel au pinceau de l'antifouling sur bateau	ouvert	absence	présence	non	présence	décapant antifouling	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Peinture	dispersif	présence (cabine)	absence	non	absence	peinture en poudre	Particules ultra fine de poudre	oui
CARSAT/CRAMIF	Tressage	clos mais ouvert régulièrement	présence (cabine)	absence	non	absence	fil de verre/céramique	-	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Encollage	dispersif	présence (cabine)	absence	non	absence	colle solvantée	-	oui
INRS	Application de gel-coat sur un moule de piscine	dispersif	présence (cabine)	présence	non	présence	gel coat	-	oui
INRS	Encollage de parties d'abri de jardin en bois	ouvert	absence	absence	oui	absence	colle bois extérieur	-	oui

DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
INRS	Utilisation d'un appareil de fabrication de nano-fibres de carbone	dispersif	présence (sorbonne)	présence	non	présence	-	nano-fibres de carbone	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Découpe tuyaux d'aluminium	ouvert	absence	absence	non	présence (Casque à cartouche à filtre anti-gaz type A)	Tuner (huile de découpe)	fumée de découpe	oui
CARSAT/CRAMIF	Tissage	clos mais ouvert régulièrement	présence (hotte)	absence	non	absence	fil de verre/céramique /inox/basalte	-	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Dépotage	clos	absence	absence	oui	absence	solvant	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Démoulage à l'huile par pulvérisation	dispersif	absence	absence	non	absence	huile de démoulage	-	oui
INRS	Dosage de diluant lors de la préparation de mastic pour usage spécifique	ouvert	présence (sorbonne)	présence	non	absence	solvant n°6	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Nettoyage des locaux	dispersif	absence	absence	non	présence	détergents, désinfectant	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Nettoyage de clichés	ouvert	absence	présence	non	absence	solvant UV WASH	-	oui



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
INRS	Utilisation de réactif pour chromatographie HPLC	ouvert	présence (sorbonne)	présence	non	absence	solvant d'extraction	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Soudage TIG	dispersif	présence	présence	non	absence	ALCOOL ETHYLIQUE _ MAXI CLEAN PRO_ Décapant métal d'apport	fumée de soudage	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Plomberie	ouvert	absence	absence	non	absence	-	poussières d'amiante	sans objet
INRS	Application au pinceau et au rouleau de biocide sur charpente ancienne	ouvert	absence	absence	non	absence	Xyloprotecteur	-	oui
INRS	Teinture de petites pièces en cuir à l'aide d'un colorant appliqué au pulvérisateur	dispersif	présence (fente d'aspiration)	présence	non	absence	colorant	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Meulage	dispersif	présence	absence	non	présence	-	particules métalliques	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Préparation de solutions parfumées	ouvert	absence	absence	non	absence	solutions parfumées	éthanol	oui



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
INRS	Conduite de chariot automoteur à gaz dans un entrepôt de marchandises et transport de palettes	dispersif	absence	absence	non	absence	-	gaz d'échappement	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Dégraissage chimique	dispersif	absence	présence	non	présence	dégraissant	A. Phosphorique	oui
CARSAT/CRAMIF	Sérigraphie	ouvert	absence	présence	non	présence	solvants et encres	vapeurs	oui
CARSAT/CRAMIF	Soudage par bossage	dispersif	absence	présence	non	absence	-	fumée de soudage	sans objet
INRS	Conduite et surveillance de machines de teinture industrielle	ouvert	absence	présence	non	absence	teinture	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Bobinage par machines	ouvert	présence (cabine)	absence	non	présence	-	poussières fibres minérales	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Peinture par poudrage électrostatique	dispersif	présence (cabine)	présence	non	présence	peintures: époxy ; polyester ; mélange époxy-polyester	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Distribution de carburant en station-service	clos mais ouvert régulièrement	absence	absence	oui	absence	supercarburants ; super éthanol ; gazole	vapeurs/ brouillards	sans objet



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
CARSAT/CRAMIF	Nettoyage de cylindre par trempage	ouvert	absence	absence	non	présence	solvant isopropanol	vapeurs	oui
CARSAT/CRAMIF	Dégraissage chimique	dispersif	absence	présence	non	présence	détergent	-	oui
INRS	Nettoyage à sec (pressing)	clos mais ouvert régulièrement	absence	présence	non	absence	solvant aseptisant, antistatique	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Gravure sur étiquettes adhésives	ouvert	absence	présence	non	absence	solvant	vapeurs solvant	oui
INRS	Surveillance d'une installation de laminage à chaud, tâche de contrôle qualité, présence de l'opérateur à proximité du laminoir	dispersif	absence	absence	non	présence	-	fumées de métal	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Extrusion plastique	ouvert	absence	absence	non	absence	(PVC, PTFE, polyamide) ; colorants, Additifs, plastifiants, plastiques rigides	fumées	sans objet



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
CARSAT/CRAMIF	Chargement	ouvert	absence	absence	oui	absence	-	poussières minérales de silice cristalline	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Peinture	dispersif	présence (cabine)	présence	non	présence	peinture liquide solvantée	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Encollage de matelas et sommiers	dispersif	présence (hotte aspirante)	présence	non	absence	colle	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Ponçage manuel	dispersif	absence	absence	non	absence	-	poussières	sans objet
INRS	Nettoyage manuel dans des locaux tertiaires	ouvert	absence	absence	non	absence	nettoyant sols	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Dégraissage chimique	dispersif	absence	présence	non	présence	neutralisant	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Décapage de supports imprégnés d'encre	dispersif	absence	absence	non	absence	solvant	vapeurs de solvant	oui
CARSAT/CRAMIF	Polissage de pièces en aluminium et magnésium	dispersif	absence	absence	non	absence	-	fumée d'AL et Mg	sans objet



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
INRS	Compléter le réservoir de produit anti-algues dans le système de filtration automatique d'une piscine couverte	ouvert	absence	présence	non	absence	anti algues	-	oui
INRS	Ajustement de la viscosité de la peinture à l'aide d'un solvant	ouvert	présence (fente d'aspiration)	présence	non	présence	peinture auto + solvant pur	-	oui
INRS	Démolition d'abri de jardin béton et pierre chez un particulier par une pelle mécanique	dispersif	présence (cabine)	absence	oui	absence	-	poussières sans effet spécifique	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Soudage par points	dispersif	absence	présence	non	absence	NR	fumées de soudage	sans objet
INRS	Test de qualité des eaux chlorées	ouvert	présence (sorbonne)	présence	non	absence	réactif	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Démoulage	ouvert	absence	absence	non	présence (gants en nitrile + masque à cartouche)	agents démoulant (solvants)	-	oui



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
INRS	Ajout de tensioactif lors de la préparation de pâte à papier pour papiers spéciaux	dispersif	absence	présence	non	présence	tensioactif	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Modelage	ouvert	absence	absence	non	absence	produits contenant styrène	poussières de styrène	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Déchargement	ouvert	absence	absence	oui	absence	-	poussières minérales de silice cristalline	sans objet
INRS	Préparation semi-artisanale de pâte à gnocchis dans une cuisine industrielle	dispersif	absence	présence	non	absence	conservateur alimentaire sorbate de potassium (E202)	-	oui
INRS	Tâche de supervision de la mise à feu de feux d'artifice	dispersif	absence	absence	oui	absence	-	fumées d'artifice	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Presse automatique	ouvert	Absence	absence	non	absence	lubrifiants (huiles)	microgouttelettes d'huile	oui
CARSAT/CRAMIF	Nettoyage de petites pièces	ouvert	absence	absence	non	absence	solvant diélectrique	vapeurs	oui
INRS	Déchargement de wagon de charbon, ouverture pour vidage par la trémie	dispersif	absence	absence	oui	absence	-	poussières de charbon	sans objet



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
INRS	Entretien et maintenance de portiques de lavage de bus et tramways : recharge en agent flocculant des eaux usées	dispersif	absence	absence	oui	absence	agent flocculant	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Ensachage de farine	dispersif	absence	absence	non	absence	-	poussières de farine	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Dégraissage électrolytique	ouvert	présence (lèvre aspirante)	absence	non	absence	soude caustique		oui
CARSAT/CRAMIF	Polissage	dispersif	absence	absence	non	absence	-	poussières	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Ponçage de mastic polymérisé	dispersif	absence	absence	non	absence	mastic polymérisé	poussières	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Conduite de finisseuse, camion, machines	clos mais ouvert régulièrement	absence	absence	oui	absence	-	enrobés bitumineux, goudron de houille, Hydrocarbures lourds de pétrole+ gaz toxique et aérosols de solvants	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Thermoformage	ouvert	absence	absence	non	absence	-	fumée de styrène ; de dérivées benzéniques et d'aldéhydes	sans objet

DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
CARSAT/CRAMIF	Ponçage de béton	dispersif	absence	absence	non	absence	ciment ; adjuvants	poussières	sans objet
INRS	Laminage a froid de tubes de cuivre : tâche d'étirage et de mise au bon diamètre	ouvert	absence	présence	non	absence	lubrifiant laminage	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Flexographie	ouvert	absence	absence	non	absence	encre_ adjuvants	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Porcelainerie	ouvert	absence	absence	non	présence	pate à porcelaine	poussières de silice	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Pelliculage	ouvert	absence	absence	non	absence	colle ; solvant	vapeurs de solvant	oui
CARSAT/CRAMIF	Ponçage mécanique	dispersif	absence	absence	non	absence	-	poussières	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Bobinage manuel	ouvert	Présence (cabine)	absence	non	absence	-	poussières fibres minérales	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Anti-fissuration	dispersif	absence	absence	non	absence	huile anti-fissuration	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Collage des structures métalliques	dispersif	présence (hotte)	absence	non	absence	plexus A310	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Réglage mécanique	ouvert	absence	absence	non	absence	-	vapeurs monoxyde de carbone	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Soudage	dispersif	absence	présence	non	absence	-	fumée de soudage	sans objet



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
INRS	Chargement de la lessiveuse avec la substance permettant de retirer les derniers restes de char sur la peau (tannerie)	dispersif	absence	absence	non	absence	agent de pré-tannage	-	oui
INRS	Déclenchement de l'agent fumigène et d'aération de la pièce en fin de fumigation	dispersif	absence	absence	non	absence	agent fumigent	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Brasure	dispersif	absence	absence	non	absence	-	fumée d'oxyde de cadmium, de fluorure de potassium ; poussière de fluorures et d'oxyde d'azote	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Découpe de bois	dispersif	absence	présence	non	absence	-	poussières de bois	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Modelage	ouvert	absence	absence	non	absence	produits contenant styrène	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Nettoyage de postes d'alimentation	dispersif	absence	absence	non	absence	-	poussières	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Soudage à l'arc MIG	dispersif	absence	absence	non	absence	-	fumée de soudage	sans objet



DEPARTEMENT METROLOGIE DES POLLUANTS

Origine de la situation	Tâche	Type de procédé	Captage	ventilation	Travail à l'extérieur	EPI	Produits utilisés	Substances émises lors du procédé	FDS (pour produit similaire)
CARSAT/CRAMIF	Collage des tablettes	dispersif	absence	absence	non	absence	colle B	-	oui
CARSAT/CRAMIF	Découpe de béton	dispersif	absence	absence	non	absence	-	poussières ; silice cristalline,	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Soudage à l'arc	dispersif	absence	absence	non	absence	NR	fumée de soudage	sans objet
CARSAT/CRAMIF	Collage des tablettes	dispersif	absence	absence	non	absence	colle A	-	oui

CONFIDENTIEL



Annexe 5. Comparaison des évaluations de Seirich à l'outil TREXMO

Matériel et méthode

Dans le cadre d'une collaboration avec Unisanté (Lausanne, Suisse), les résultats de l'évaluation de l'exposition de Seirich sur les 88 situations de travail de la matrice ont été comparés à ceux du logiciel TREXMO qui permet d'évaluer simultanément une situation d'exposition au moyen de six modèles reconnus par l'ECHA et fréquemment utilisés dans le cadre de REACH. Il fournit d'une part, six évaluations de l'exposition effectuées par chacun des six modèles et d'autre part une évaluation issue de la combinaison des 6 modèles. La partie d'évaluation des dangers de Seirich a ainsi été exclue.

Afin d'établir cette comparaison, les spécificités et les finalités de chaque modèle ont été prises en compte : la difficulté majeure réside dans la mise en correspondance des paramètres d'entrée des différents modèles, qui sont différents en nombre et en niveau de détail (comme ça a été remarqué pour certains des outils dans le tableau 1). Par ailleurs, le sujet même sur lequel porte l'évaluation de l'exposition est différent : substance (TREXMO) versus produit (Seirich). Pour harmoniser ceci, un choix d'une seule substance parmi l'ensemble de celles présentes dans le produit (et indiquées à la rubrique 3 de la FDS) a été réalisé, en se basant sur les mentions de danger et la concentration de la substance dans le produit. En pratique, toute substance ayant une ou plusieurs mentions de danger similaires à celles du produit est sélectionnée et le choix final porte sur la substance ayant la concentration la plus élevée parmi l'ensemble.

Pour l'exposition, les paramètres d'entrée principaux dans TREXMO sont ceux de l'outil ART. Ces paramètres sont : le procédé, les moyens de protection, le volume de la zone de travail, l'éloignement du salarié de la source d'émission, la durée d'exposition, la pression de vapeur de la substance, la granulométrie, la concentration de la substance dans le produit. Dans la matrice des situations, le volume de la zone de travail et l'éloignement du salarié ne sont pas disponibles, donc une estimation, portant sur la description de l'activité, de ces deux déterminants a été réalisée.

Les modèles produisent des résultats dans des formats différents : les modèles de TREXMO produisent des estimations de la concentration atmosphérique d'une substance en mg.m^{-3} , tandis que Seirich produit un score de risque. En conséquence, la méthode de classement par les rangs a été utilisée pour comparer les résultats.

Résultats

Dans un premier temps, les comparaisons ont été faites entre Seirich et chaque modèle et puis entre Seirich et TREXMO pour l'ensemble des situations de travail, plusieurs graphiques en nuages de points ont été créés : la figure 1 représente un exemple de comparaison des résultats de classement par rang pour les évaluations de Seirich et ART.

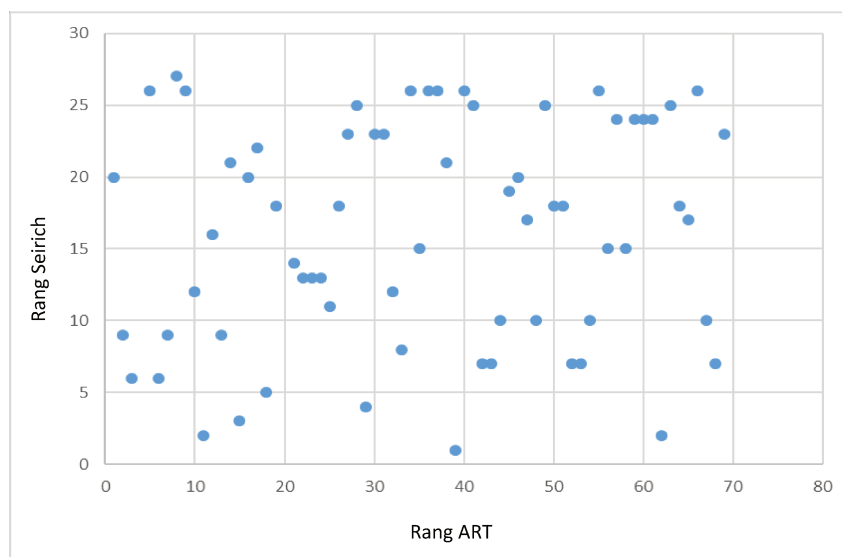


FIGURE 1. RESULTATS DE CLASSEMENT PAR RANG DES SITUATIONS DE TRAVAIL SELON LES EVALUATIONS DE L'EXPOSITION ISSUES DE SEIRICH ET ART

Les résultats du graphique amènent à conclure qu'il n'y a pas de corrélation entre les évaluations de Seirich et celles de ART ($R=0.003$). De plus, les résultats de comparaison de Seirich aux autres outils (TREXMO, Stoffenmanager, ECETOC TRA, EASE, MEASE, et EMKG-EXPO-TOOL) ont conduit aux mêmes conclusions : il n'y a pas de corrélation.

Dans un deuxième temps, d'autres comparaisons ont été réalisées entre les différents outils par sous-ensemble de données : par exemple, une séparation entre les situations de travail utilisant des produits étiquetés et celles émettant des agents chimiques émis a été faite. La figure 2 montre le résultat de comparaison entre Seirich et ART pour les situations de travail utilisant des produits étiquetés seulement.

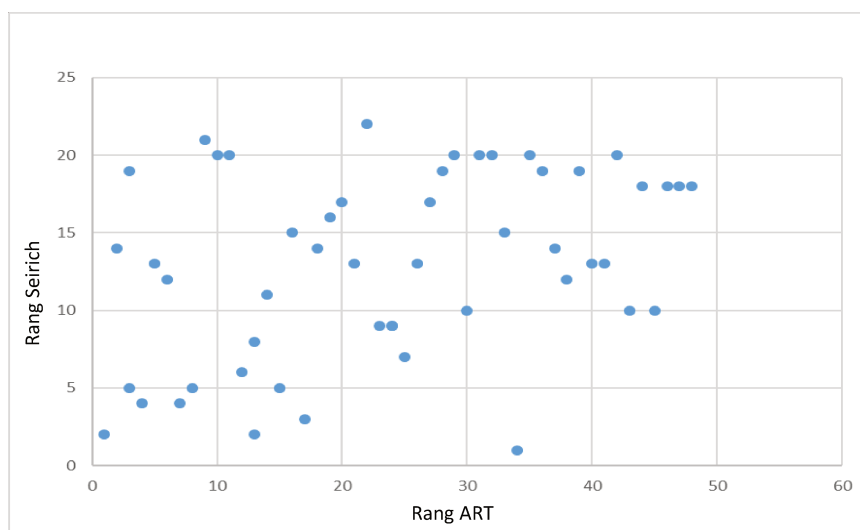


FIGURE 2. RESULTATS DE CLASSEMENT PAR RANG DES SITUATIONS DE TRAVAIL METTANT EN ŒUVRE DES PRODUITS ETIQUETES SEULEMENT, SELON LES EVALUATIONS DE L'EXPOSITION ISSUES DE SEIRICH ET ART

Les résultats du graphique amènent à conclure que, malgré la séparation des types de produits, il n'y a pas de corrélation entre les évaluations de Seirich et celles de ART ($R=0,13$). De plus, les résultats de comparaison par sous-ensemble de Seirich aux autres outils (TREMOMO, Stoffenmanager, ECETOC TRA, EASE, MEASE, et EMKG-EXPO-TOOL) conduit aux mêmes conclusions : il n'y a pas de corrélation.

Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence dans les résultats d'évaluation des outils :

- Le domaine d'application de chaque modèle est différent. Par exemple, les procédés émettant des fumées comme le soudage ou la brasure sont hors champ d'application des modèles ART, ECETOC TRA et Stoffenmanager (1). Donc, pour ces situations, aucune comparaison entre Seirich et ces modèles ne peut être faite. De plus, les fibres ne sont pas prises en compte par Stoffenmanager et EMKG-EXPO-TOOL. Enfin, le procédé clos n'est pas une modalité disponible dans Stoffenmanager.
- Le poids de chaque déterminant dans l'évaluation de l'exposition est différent entre les modèles et Seirich, avec un niveau de détail supérieur dans les modèles. Par exemple, dans Seirich le procédé est défini par 4 modalités (dispersif, ouvert, clos mais ouvert régulièrement et clos) ou par la sélection d'un des 30 PROC issus de REACH. En pratique,

les PROC sont peu utilisés par les utilisateurs car ils ne sont pas facilement compréhensibles par tous les utilisateurs. Dans ART, le procédé est défini par une liste de « classes d'activité » qui dépendent du type de produit. Chaque classe d'activité est liée à d'autres questions auxquelles l'utilisateur doit répondre pour déterminer le potentiel d'émission de l'activité.

- La correspondance réalisée pour passer d'un produit à la substance étudiée a été réalisée d'une façon qualitative qui a porté sur un consensus d'expert en prenant en compte deux déterminants seulement (concentration et mentions de danger).

Les résultats de ce travail démontrent que les modèles disponibles peuvent calculer des estimations différentes pour les mêmes scénarios de travail. Ceci pourrait conduire l'utilisateur de ces modèles à des conclusions potentiellement différentes sur le risque encouru. La planification du plan d'actions à mettre en œuvre peut ainsi être difficile à réaliser.

1. European Chemicals Agency. Guidance on information requirements and chemical safety assessment: Chapter 14: occupational exposure assessment, version 3.0 August 2016. [Internet]. LU: Publications Office; 2016 [cited 2022 Jun 17]. Available from: <https://data.europa.eu/doi/10.2823/678250>

Annexe 6. Propositions d'amélioration pour les algorithmes d'évaluation du risque incendie/explosion du logiciel Seirich

Amélioration	Explication
Révision des intervalles de comparaison entre la température d'utilisation et le point d'éclair	<ul style="list-style-type: none"> - Dans Seirich, Le danger des liquides combustibles est examiné en comparant leurs températures d'utilisation et leurs points d'éclair : $]-\infty ; PE-15[$, $[PE-15 ; PE[$ et $[PE ; +\infty[$. - Par précaution, l'intervalle d'utilisation le plus dangereux doit inclure une marge de sécurité par rapport au point d'éclair. La nouvelle classification proposée est la suivante : $]-\infty ; PE-15[$, $[PE-15 ; PE-5[$ et $[PE-5 ; +\infty[$.
Évaluation des dangers des produits liquides ayant un point d'éclair supérieur à 60°C	<ul style="list-style-type: none"> - Malgré qu'ils soient combustibles, le niveau de risque établi par Seirich pour ce type de produits est toujours au minimum puisqu'ils ne sont pas classés par le CLP. - La proposition serait d'attribuer un score de danger à ces produits en fonction de leur températures d'utilisation : score très élevé pour les liquides utilisés à des températures supérieures à leur point d'éclair (PE), suivi par un score moins élevé pour les liquides dont la température d'utilisation appartient à l'intervalle $[PE-15 ; PE[$ et un score modéré pour ceux utilisés dans l'intervalle $]-\infty ; PE-15[$.
Prise en compte de la ventilation lors du stockage	<ul style="list-style-type: none"> - Les conditions de stockage des produits chimiques doivent répondre à des règles de sécurité strictes quel que soit le type du local de stockage : ventilation mécanique permanente - Les modalités de stockage proposés par Seirich incluent implicitement la notion de ventilation, il a donc été proposé d'expliciter la question de la ventilation des lieux de stockage en gardant les scores actuels attribués à chaque modalité.
Prise en compte de la compatibilité des produits lors de leur stockage	<ul style="list-style-type: none"> - Les produits incompatibles doivent être séparés physiquement pour éviter tout contact entre eux : produits acides et basiques, produits oxydants et réducteurs, produits combustibles et comburants par exemple. - Des actions de prévention relatives au stockage et à la compatibilité des produits seront proposées dans le plan d'action généré par Seirich à la fin de l'évaluation.
Prise en compte du nettoyage des dépôts solides	<ul style="list-style-type: none"> - Pour éviter tout risque lié aux poussières présent dans un lieu de travail, il est important de procéder au nettoyage régulier des couches ou des dépôts de poussières en prenant en compte le niveau de dégagement de la source d'émission, sa vitesse de déposition et le type de nettoyage adéquat - Pour simplifier et sensibiliser l'utilisateur, il a été proposé d'introduire ce paramètre en ne prenant en compte que le type de nettoyage adopté en cas de dépôt de poussière.

<p>Prise en compte des mesures de prévention concernant les sources d'inflammation</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La mise en place de mesures de prévention dans le but d'éliminer ou de maîtriser les sources d'inflammation dans les zones à risques d'explosion est un facteur qui joue un rôle important dans la prévention et dans la démarche d'évaluation. - Une modification des scores des différentes modalités de mesures de préventions est proposée dans le but de mieux prendre en compte leur spécificités et degrés de protection
<p>Évaluation des dangers des produits solides sans mention de danger pour l'incendie/explosion</p>	<p>Pour compenser l'absence de mention de danger pour l'incendie/explosion, un score de danger a été proposé pour qu'il soit attribué aux solides en fonction de leur granulométrie. Le score le plus élevé est attribué aux poudres fines, poudres et grains, suivi par un score moins élevé pour les granulés et les solides peu friables</p>
<p>Meilleure prise en compte du procédé de mise en œuvre des produits : « clos »</p>	<p>Pour mieux prendre en compte les spécificités de ce type de captage, une révision du score et la suppression de la prise en compte du captage lors du procédé clos ont été proposées.</p>
<p>Révision de la liste des sources d'inflammation</p>	<p>Seirich propose une liste de 10 choix de sources d'inflammation, une reformulation du contenu de cette liste a été proposée, et les scores attribués à chacune des sources d'inflammations doivent être révisés.</p>

VALORISATION

Articles

Abir Aachimi, Florian Marc, Nathalie Bonvallet & Frédéric Clerc (2022) The design of a matrix linking work situations to chemical health risk at the workplace, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 19:3, 157-168, DOI: 10.1080/15459624.2021.2023161

Abir Aachimi, Florian Marc, Nathalie Bonvallet & Frédéric Clerc (2022). A control banding method for chemical risk assessment in occupational settings in France. Submitted to *International Journal of Environmental Research and Public Health* on November, 2022

Communications orales

Aachimi A, Bonvallet N, Clerc F. The design of a matrix linking work situation to chemical risk. Communication at the 12th IOHA International Scientific Conference, 11-15 September 2021, Daegu, Korea. Virtual Meeting. *Award for the best presentation as a podium presenter*

Aachimi A, Marc F, Bonvallet N, Clerc F. Comparison of chemical risk assessment of the Seirich software with expert judgment. Communication at the ISES 2022 Annual meeting, 25-29 September 2022, Lisbon, Portugal

Communications affichées

Aachimi A, Bonvallet N, Clerc F. Optimisation des algorithmes d'évaluation de Seirich : La conception d'une matrice de situations de travail associées à un niveau de risque chimique établi par expertise. Rencontres scientifiques du réseau doctoral de santé publique EHESP. 10 et 11 juin 2021, Rennes, France.

Aachimi A, Bonvallet N, Clerc F. Improvement of Seirich chemical health risk assessment algorithms in occupational health. Communication at the fourth edition of scientific meetings EDDBS Bretagne-Loire. 9-12 December 2021, Brest, France.

Aachimi A, Marc F, Bonvallet N, Clerc F. Seirich s'améliore! Communisation à la 12ème édition de la journée des doctorants INRS. 29 mai 2022, Vandoeuvre Les Nancy, France.

Aachimi A, Clerc F. Cohérence entre l'évaluation du risque du logiciel Seirich et les données d'exposition de la base Colchic. Communication à la 36^{ème} édition du congrès national de la médecine de travail. Europa organisation. Du 14 au 17 juin 2022, Strasbourg, France

The design of a matrix linking work situation to chemical health risk at the workplace

Abir AACHIMI^{1,2}, Nathalie BONVALLOT², Frederic CLERC¹

¹ Institut National de Recherche et de Sécurité. 1, rue du Morvan. 54519 Vandœuvre-lès-Nancy, France

² Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail)-UMR_S 1085, F-35000 Rennes, France

Corresponding author : AACHIMI Abir, CS 60027 54519 Cedex, Rue du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy. E-mail : abir.aachimi@inrs.fr

Keywords: chemical risk assessment, work situation, expert judgment, work situation/risk matrix.

Background and purpose:

In France, each company is in the obligation to make an inventory of the risks threatening employee's health. Its aim is to prioritize the prevention actions that has to be implemented. Focusing on chemical risk, several databases on hazards and exposures are widely available, and tools are proposed to help the companies. However, a lack of information exists regarding chemical risk as a combination of hazard and exposure. The objective of this study is to build a matrix to link work situation with chemical risk.

Methods:

Eighty-eight work situations representing different sectors in French industry were collected from occupational hygienists' thesis reports, and for each of them, data on exposures and hazard are gathered. The rows of the matrix are work situations, the columns are the descriptors of hazard and exposure. Each work situation is then associated with a level of chemical risk assessed by 21 experts using the DELPHI method. Chemical risk levels are expressed as a range of values between [0-100], with the size chosen by the expert. The experts' assessments were merged to assign a chemical risk score to each situation. This score is associated with an uncertainty level that combines the confidence of experts and the dispersion of their respective scores.

Results and discussion:

The results show an overall consensus among the experts regarding the risk levels defined for each work situation: the level of uncertainty is 20% on average, which is considered low. Through comments, the experts reported their own lack of knowledge in some specific situations, like fireworks manufacturing sector, or for some hazards such as respiratory sensitizers. For these situations, risk levels were associated with a high level of uncertainty.

Conclusions:

Based on the risk levels defined, this matrix can be used to improve or develop workplace risk assessment tools.

Rencontres scientifiques du réseau doctoral de santé publique EHESP. 10 et 11 juin 2021.

Rennes, France.

OPTIMISATION DES ALGORITHMES D'ÉVALUATION DE SEIRICH :
La conception d'une matrice de situations de travail associées à un niveau de risque chimique établi par expertise

Abir AACHIMI^{1,2}, Nathalie BONVALLOT², Frederic CLERC¹

¹ Institut National de Recherche et de Sécurité. 1, rue du Morvan. 54519 Vandœuvre-lès-Nancy, France

² Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail)-UMR_S 1085, F-35000 Rennes, France

Auteur correspondant: AACHIMI Abir, CS 60027 54519 Cedex, Rue du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy. E-mail : abir.aachimi@inrs.fr

Mots clés: Évaluation du risque chimique, situation de travail, expert, matrice de situation de travail.

Contexte et objectif :

En France, chaque entreprise est dans l'obligation de réaliser un inventaire des risques menaçant la santé de ses salariés. L'objectif est de prioriser les actions de prévention à mettre en œuvre. En ce qui concerne le risque chimique, plusieurs bases de données sur les dangers et les expositions sont largement disponibles, et des outils sont proposés pour aider les entreprises. Cependant, il existe un manque d'informations concernant le risque chimique en tant que combinaison de danger et d'exposition. L'objectif de cette étude est de construire une matrice pour relier des situations de travail au risque chimique.

Méthodes :

Quatre-vingt-huit situations de travail représentant différents secteurs de l'industrie française ont été collectées à partir de rapports de thèse de préventeurs, et pour chacune d'entre elles, des données sur les expositions et les dangers sont recueillies. Les lignes de la matrice sont les situations de travail, les colonnes sont les descripteurs de danger et d'exposition. Chaque situation de travail est ensuite associée à un niveau de risque chimique évalué par 21 experts selon la méthode DELPHI. Les niveaux de risque chimique sont exprimés sous la forme d'une fourchette de valeurs comprise entre [0-100], la taille étant choisie par l'expert. Les évaluations des experts ont été fusionnées pour attribuer un niveau de risque chimique à chaque situation. La confiance des experts et la variabilité de leurs scores respectifs sont associées au risque.

Résultats et discussion :

Les résultats montrent un consensus global entre les experts concernant les niveaux de risque définis pour chaque situation de travail : le niveau de variabilité est de 15% en moyenne, ce qui est considéré comme faible, et la confiance est de 82% en moyenne ce qui est considéré comme fort. Par le biais de commentaires, les experts ont fait part de leur propre manque de connaissances dans certaines situations spécifiques, comme le secteur de la fabrication de feux d'artifice, de la viticulture et de la porcelaine. Pour ces situations, les niveaux de risque étaient associés à un niveau de confiance plus faible que les autres.

OPTIMISATION DES ALGORITHMES D'ÉVALUATION DE SEIRICH

conception d'une matrice de situations de travail associées à un niveau de risque chimique établi par expertise

Abir AACHIMI^{1-2*}, Nathalie BONVALLOT², Frédéric CLERC¹¹ Institut National de Recherche et de Sécurité, 1, rue du Morvan, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy² Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail)-UMR_S 1085, F-35000 Rennes, FranceRéseau doctoral
en santé publique

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA THESE



SEIRICH	Généralité	Application informatique développée par l'INRS avec différents partenaires
	Intérêt	Outil d'aide à l'évaluation des risques chimiques en milieu professionnel pour tous niveaux d'utilisateur
	Statut	Méthode de référence en évaluation du risque chimique en France
	Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> Lancée en 2015 Version : 3.2 30 000 utilisateurs

OBJECTIFS DE LA THESE

- ✓ Optimiser les algorithmes d'évaluation des risques chimiques de Seirich pour renforcer son statut de méthode de référence en France.
- ✓ Mettre Seirich en perspective avec d'autres outils développés à l'international.



DÉMARCHE DE RECHERCHE



Création d'une matrice de situations de travail liées à un niveau de risque expertisé



Propositions d'amélioration des algorithmes d'évaluation



Positionnement de Seirich face à d'autres outils

TRAVAUX RÉALISÉS



Méthodologie

- Un total de 88 situations de travail provenant de l'analyse de 56 mémoires préventeurs en santé au travail.
- Evaluation réalisée par 21 experts INRS et des préventeurs en santé au travail ; les scores de risque sont exprimés en [0-100], associés à des commentaires justificatifs.
- Les scores de risque ont été agrégés en un seul niveau de risque. Chaque niveau de risque est lié à un niveau d'incertitude.

Matrice des situations de travail de référence

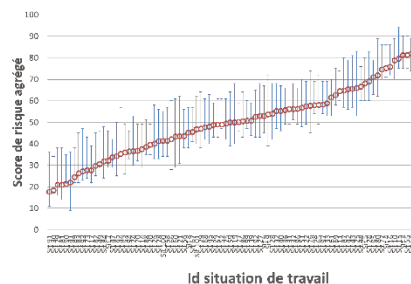


Figure 1 : Scores de risque agrégés associés aux niveaux d'incertitude pour chaque situation de travail

Résultats

- 50 % (43 sur 88) des situations de travail ont un niveau de risque agrégé compris entre 40 et 60. 27 % ont un niveau inférieur à 40 (24 sur 88), et 24 % ont un niveau supérieur à 60 (21 sur 88).
- Les niveaux d'incertitude sont faibles, ils varient entre 11 % et 33 %.
- Les plus hauts niveaux d'incertitude sont associés à un manque de données précises sur la description de la situation en terme de procédé, d'exposition et/ou de dangers.

Méthodologie

- Comparaison des scores de l'expertise à ceux issus de Seirich pour toutes les situations de travail.
- Une situation est jugée « cohérente » lorsque son score Seirich se situe dans l'intervalle d'incertitude du score d'expertise.

Amélioration des algorithmes d'évaluation

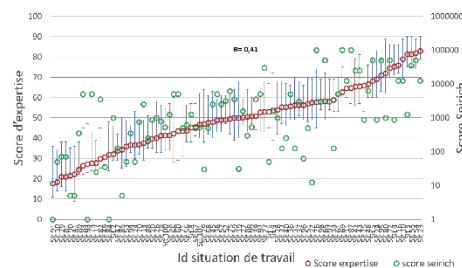


Figure 2 : Comparaison entre les scores obtenus par expertise et ceux obtenus par Seirich pour toutes les situations de travail

Résultats

- 46 situations sont « cohérentes » et 40 « non cohérentes ».
- Selon l'analyse des situations non cohérentes :
 - ✓ Seirich est plus conservateur pour les situations dont les dangers sont des sensibilisants et irritants respiratoires.
 - ✓ Seirich est moins conservateur pour les situations dont les dangers proviennent de produits chimiques émis lors du procédé.
 - ✓ Seirich est moins conservateur pour les situations utilisant un captage de type « sorbonne ».

SUITES



- La liste des situations de travail de référence et leur expertise fera l'objet d'une publication scientifique fin 2021.
- Une liste de pistes d'optimisation des algorithmes a été préparée, leur validation est prévue pour fin 2021.
- Mise en perspective avec d'autres outils prévue pour 2022.

The fourth edition of scientific meetings EDBS Bretagne-Loire. 9-12 December 2021, Brest, France

Improvement of Seirich chemical health risk assessment algorithms in occupational health

Abir AACHIMI^{1,2}, Nathalie BONVALLOT², Frederic CLERC¹

¹ Institut National de Recherche et de Sécurité. 1, rue du Morvan. 54519 Vandœuvre-lès-Nancy, France

² Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail)-UMR_S 1085, F-35000 Rennes, France

Corresponding author : AACHIMI Abir, CS 60027 54519 Cedex, Rue du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy. E-mail : abir.aachimi@inrs.fr

Keywords: Seirich, risk assessment algorithms, risk matrix, improvement, impact analysis

Launched in June 2015, the Seirich software is a tool that helps companies to assess their chemical risks, informs them of their regulatory obligations and contributes in setting up a prevention action plan. It was developed by the INRS and its partners (the Ministry of Labor, the health insurance prevention network and professional organizations). In order to follow the regulatory updates, to provide ergonomic evolutions and to add new functionalities, several modifications have been made in different versions of Seirich. The aim of this project is to improve the chemical risk assessment algorithms of Seirich. The research approach is based on 2 main phases: (1) constitution of a matrix of work situations associated to a chemical risk value. Work situations were collected from reports written by professionals from public French health insurance. Each work situation is defined by descriptive parameters of the task, the exposure and the hazard. Using the Delphi expert elicitation technique, each work situation has been assessed and a chemical risk score has been defined by 21 experts by considering all the descriptive parameters (2) Improvement proposals based on the comparison of Seirich risk score with the experts' assessment ; the examination of other risk/exposure assessment models and the feedback from Seirich users. The impact of each improvement modification on the risk assessment was evaluated using nearly 10,000 real work situations provided by companies. Each modification was applied to all situations, and its impact on the score and on the risk levels was evaluated. Similarly, the impact of all proposals applied together was evaluated.

In the first phase, Eighty-eight French work situations were collected and assessed. Various types of companies are represented by these work situations. The most represented activity sectors were: building and construction (16 %), automotive (11 %), metallurgy (11 %), and printing (7 %). The experts have given risk scores comprised between 40 and 60 to 50% of the work situations. The uncertainty levels rang from 11% to 33% with an average of 20%. During the second phase, a list of 18 possible improvements was elaborated based on the differences between the expert risk scores and the Seirich risk scores and those between Seirich and the other risk/exposure assessment models and also on the feedback from Seirich users. Criteria of relevance, feasibility and strategy were applied to identify the most relevant and feasible improvements. Eight of them were selected and an algorithm-based solution was proposed. The results of the impact analysis of all the proposals show that the risk score has changed for 35% of the work situations with a modification in the risk level for 6% of them.

The proposed improvements help to correct the limitations identified in Seirich . The proposals and their impact study will be presented to the software steering committee who will decide on their application.

Improvement of Seirich chemical health risk assessment algorithms in occupational health

Abir AACHIMI^{1-2*}, Nathalie BONVALLOT², Frédéric CLERC¹

abir.aachimi@inrs.fr/ abiraachimi57@gmail.com

¹ Institut National de Recherche et de Sécurité, 1, rue du Morvan, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy

² Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail)-UMR_S 1085, F-35000 Rennes, France

Introduction and objectives

SEIRICH

- A software tool developed by INRS
- Reference method for occupational chemical risk assessment in France
- Health, fire/explosion and environment
- assess companies' chemical risks
- inform of regulatory obligations
- sets up a prevention action plan
- Lunched in 2015
- Version : 3.2.2
- 30 000 users

The aim of this thesis is to improve Seirich chemical health risk assessment algorithms (inhalation and dermal routes)



Materials and methods

I) Chemical risk matrix and comparison with Seirich → **II) Comparison of Seirich with other risk/exposure models** → **III) Algorithms Improvement proposals**

- Real French work situations collected from occupational health hygienists reports
- All work situations were assessed by 21 experts (Delphi technique), based on hazard and exposure data
- The risk levels were compared to those set by Seirich for all work situations
- A literature review was conducted to determine all other risk and exposure assessment models and tools
- The comparison between Seirich and these tools concerned mainly the parameters used to evaluate the exposure part
- A list of algorithms improvement proposals was set from the results of the steps (I) and (II) and from the feedback from Seirich users
- The impact of proposals was evaluated using 10,000 real work situations

Results

Chemical risk matrix

- 88 real French work situations
- The most represented activity sectors : building and construction (16 %), automotive (11 %), metallurgy (11 %), and printing (7 %).

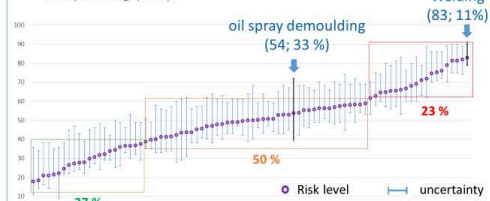


Figure 1 : Risk levels and uncertainty for the 88 work situations

Results

Improvement proposals

- The results of the comparisons allowed to assess a list of 8 improvement proposals
- Example: **Improvement related to risk assessment for powders without CLP hazard statements (H and EUH)**

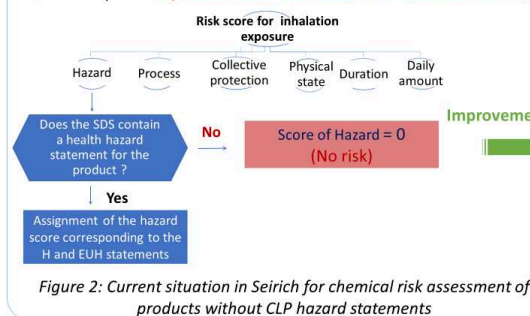


Figure 2: Current situation in Seirich for chemical risk assessment of products without CLP hazard statements

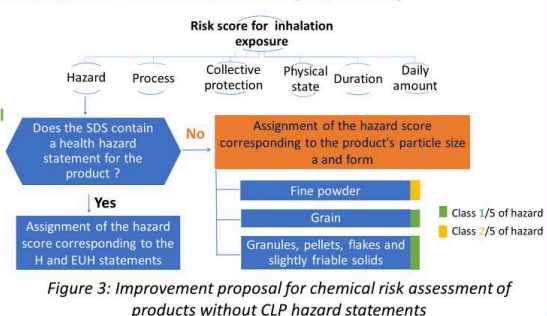


Figure 3: Improvement proposal for chemical risk assessment of products without CLP hazard statements

Conclusion

- The results of the impact analysis of all the proposals show that the risk score has changed for 35% of the work situations with a modification in the risk level for 6% of them
- The proposed improvements will be presented to the software steering committee who will decide on their application.

Seirich s'améliore!

AACHIMI Abir^{1-2*}, Florian MARC¹, Nathalie BONVALLOT², Frédéric CLERC¹

¹ Institut National de Recherche et de Sécurité. 1, rue du Morvan. 54519 Vandœuvre-lès-Nancy
² Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail)-UMR_S 1085, F-35000 Rennes, France



INTRO / CONTEXTE / OBJECTIFS

Contexte

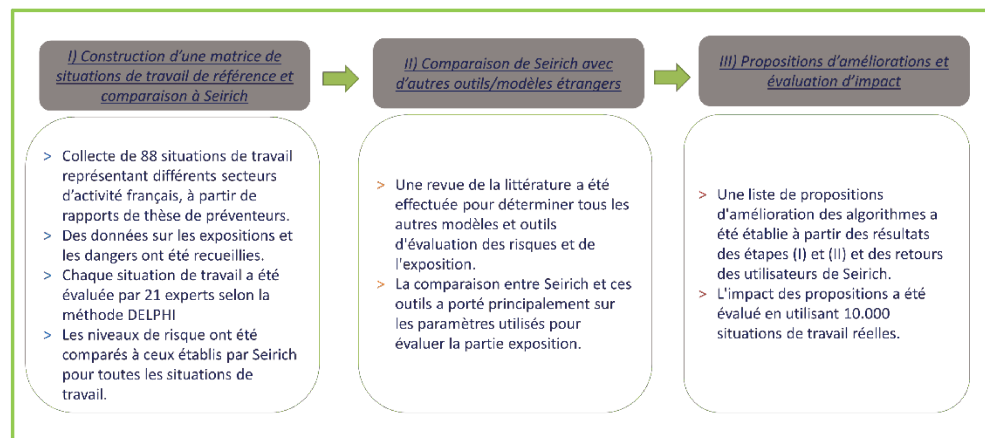
- Un logiciel développé par l'INRS ; 2015; 30 000 utilisateurs
- Méthode de référence pour l'évaluation du risque chimique professionnel en France
- Santé, incendie/explosion et environnement
- Évaluation des risques chimiques
- Information sur les obligations réglementaires
- Mise en place d'un plan d'action de prévention

Objectifs

Amélioration des algorithmes d'évaluation de risque chimique de Seirich pour renforcer son statut de méthode de référence en France

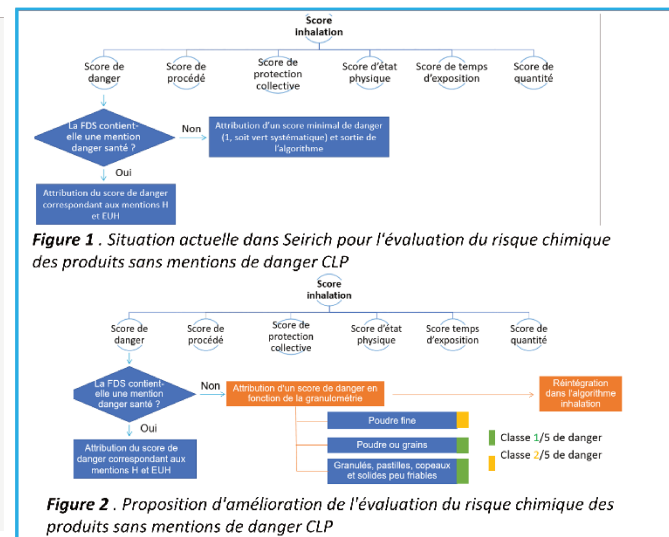


METHODE / DÉMARCHE DE RECHERCHE



RESULTATS

- Des limites du logiciel ont été identifiées suite aux comparaisons réalisées.
- Une liste de 18 pistes d'amélioration a été élaborée.
- Des critères de pertinence, de faisabilité et de stratégie appliqués pour les classer par ordre de priorité.
- 8 propositions d'amélioration retenues et une solution algorithmique a été proposée pour chacune; exemple figures 1 et 2 .
- L'analyse d'impact montre que le score de risque a changé pour 39 % des situations de travail, avec une modification du niveau de risque pour 11 % d'entre elles.



CONCLUSION / PERSPECTIVES

Les propositions et leur étude d'impact ont été présentées au comité de pilotage du logiciel (représentants de la direction générale du travail, du réseau prévention de l'assurance maladie et d'organisations professionnelles) qui décidera de leur mise en œuvre.

Apport pour la prévention

Consolider Seirich pour avoir une meilleure évaluation au sein des entreprises françaises afin d'établir de meilleurs plans de prévention accompagné de moyens de protection plus efficaces

* abir.aachimi@inrs.fr

Comparison of chemical risk assessment of the Seirich software with expert judgment

Abir AACHIMI^{1,2}, Nathalie BONVALLOT², Florian MARC ¹, Frederic CLERC¹

¹ Institut National de Recherche et de Sécurité. 1, rue du Morvan. 54519 Vandœuvre-lès-Nancy, France

² Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail)-UMR_S 1085, F-35000 Rennes, France

Corresponding author : AACHIMI Abir, CS 60027 54519 Cedex, Rue du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy. E-mail : abir.aachimi@inrs.fr

Keywords: chemical risk assessment, control banding method, risk matrix, Delphi technique, experts, score of risk.

SEIRICH is a chemical risk assessment tool developed in France in 2015 by the National Research and Safety Institute (INRS). It aims to harmonize the existing methods for assessing chemical risks in work environments and to ensure consistency among preventive actions. Seirich relies on a control banding method for chemical risk assessment. The aim of this work is to validate the results of this software with real life data, in order to reinforce, improve and extend its use. The chemical risk matrix (1) is a list of 88 real work situations representing workers' exposure to different types chemical hazards. They were evaluated by 21 experts according to the Delphi technique. The work situations were also evaluated by SEIRICH and the two evaluations were then compared. A situation is considered "coherent" when the SEIRICH score is within the uncertainty range of the experts' score. Finally, each incoherent situation was studied to understand the origin of the inconsistency. The scores of 54% of the situations (n=48) are coherent between SEIRICH and the experts, 17% of them have a higher SEIRICH score than the experts, and 29% have a lower SEIRICH score than the experts. The analysis of the incoherent situations showed that the software was more conservative when hazards are respiratory sensitizers, and when protective measures exist. In contrast, Seirich was less conservative for assessing the risk of the chemicals emitted during processes (i.e. welding fumes and particles). This work identified the main limitations of Seirich that will allow to make improvements.

Autres valorisations liées au projet

Co-encadrement d'un stage de Master 2 sur l'amélioration des algorithmes d'évaluation du risque incendie/explosion du logiciel Seirich.

Chettou Hasnaa, Aachimi Abir, Marc Florion, Frédéric Clerc. Amélioration des algorithmes d'évaluation du risque incendie/explosion du logiciel Seirich. Mars- Septembre 2021. Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

L'évaluation des risques chimiques est une obligation de l'employeur pour assurer la santé et la sécurité de ses salariés. Elle est souvent longue et difficile à réaliser.

Le logiciel Seirich a été lancé par l'INRS et ses partenaires pour aider les entreprises à réaliser cette évaluation. L'amélioration de ses algorithmes d'évaluation des risques chimiques fait l'objet d'une étude longue lancée en 2019. Le présent travail fait partie de cette étude, il vise l'amélioration des algorithmes d'évaluation du risque incendie/explosion.

Le sujet a été traité en empruntant deux voies. La première voie concerne la recherche bibliographique des méthodes d'évaluation du risque incendie/explosion existantes à l'échelle nationale et européenne, et l'organisation des échanges avec des experts incendie/explosion dans le but d'identifier les paramètres nécessaires à l'évaluation du risque. La deuxième voie concerne l'établissement et l'expertise d'une liste de 23 situations de travail de référence décrites par les mêmes paramètres utilisés par Seirich, pour identifier et analyser les divergences entre les résultats des évaluations des experts et ceux du logiciel.

La démarche empruntée a permis d'aboutir à des pistes d'amélioration qui ont été évaluées et priorisées en utilisant une matrice de décision qui se base sur des critères de pertinence, de faisabilité et de stratégie pondérés selon leur importance dans le choix final.

Neuf propositions d'amélioration ont été retenues : quatre propositions portent sur l'amélioration de l'existant, elles concernent la prise en compte de la ventilation dans le milieu de stockage, la prise en compte du confinement pour les procédés clos, la révision de la liste des sources d'inflammation proposée par Seirich et la révision des intervalles de comparaison entre la température d'utilisation et le point d'éclair pour les liquides. Trois nouveaux paramètres ont été ajoutés à la méthodologie d'évaluation du risque incendie/explosion, il s'agit de la prise en compte de la compatibilité des produits chimiques dans le milieu de stockage, la prise en compte du nettoyage des dépôts de poussière au niveau du poste de travail et des actions de prévention relatives aux sources d'inflammation. Enfin, deux algorithmes ont été proposés

pour corriger la méthodologie d'évaluation des produits chimiques non étiquetés ou qui ne sont pas visés par le règlement CLP, comme les solides en poudre et les liquides ayant des points d'éclair supérieurs à 60°C.