

Stratégie de prélèvement

Introduction

L'élaboration de la stratégie de prélèvement est la première étape du processus pour établir un diagnostic de respect ou de dépassement d'une valeur de référence. Elle repose entre autres sur les données issues de l'évaluation du risque de l'entreprise et a pour objectif d'optimiser les prélèvements à réaliser.

Objectifs	2
Aspects théoriques.....	2
Bonnes pratiques de stratégie.....	2
Etude de situation.....	3
Visite initiale	5
Elaboration de la stratégie de prélèvement.....	6
Bibliographie	8
Auteurs.....	8
Historique.....	9

OBJECTIFS

L'élaboration d'une stratégie de prélèvement est dans la continuité de la réalisation de l'évaluation des risques qui doit figurer dans le Document Unique d'Évaluation des Risques (DUER). Cette évaluation relève de la responsabilité du chef d'entreprise qui peut s'appuyer sur des outils comme SEIRICH (<http://www.seirich.fr>) pour l'élaborer. Cette évaluation conduit à la mise en place de moyens de prévention adaptés pour réduire le risque selon les 9 principes de prévention (<http://www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html>). Elle peut également conduire à la réalisation de mesurages pour déterminer les niveaux de concentration de polluants. Pour évaluer l'exposition des travailleurs, l'utilisation de prélèvements individuels dans la zone respiratoire est l'approche la plus représentative de l'exposition réelle. Pour cartographier la concentration dans une unité de travail, un atelier par exemple, des mesures à point fixe, dites d'« ambiance du lieu de travail » sont utilisées. Enfin, des objectifs plus spécifiques peuvent être visés, comme la capitalisation de mesures en vue d'études épidémiologiques, ou la quantification de la pollution initiale à t_0 .

Ainsi, **la stratégie de prélèvement varie en fonction de l'objectif de l'intervention**. L'hygiéniste du travail pourra préférer estimer les variations d'exposition d'un ensemble de travailleurs au cours d'une journée de travail, en vue de détecter les étapes les plus polluantes d'un procédé pour suggérer des actions correctives ou pour établir un diagnostic de respect ou dépassement de la Valeur Limite d'Exposition Professionnelle (VLEP). Le médecin du travail, quant à lui, pourra juger nécessaire d'avoir une estimation sur un travailleur particulier, sur plusieurs périodes de l'année.

ASPECTS THÉORIQUES

L'évaluation de l'exposition par les mesures repose sur la notion fondamentale d'**échantillonnage**. L'échantillonnage consiste à extraire un sous ensemble d'individus supposés représentatifs d'une population. Cette notion est courante dans le domaine du sondage d'opinion : un sous ensemble de personnes est choisi pour représenter la population française (tranche d'âge, catégorie socio professionnelle...). En hygiène industrielle, un sous ensemble de mesures est extrait de l'ensemble des mesures possiblement réalisables. Par exemple, pour un groupe composé de 10 travailleurs qui réalisent leur activité 200 jours par an, la population de mesures individuelles pour un jour complet travaillé est $10 \times 200 = 2\ 000$.

L'extrapolation consiste à élaborer des conclusions sur l'ensemble de la population, en ayant seulement un échantillon disponible. En conséquence, la **représentativité** de l'échantillon revêt une importance cruciale : il serait incorrect d'élaborer des conclusions sur l'ensemble de la population française sur la base d'un sous ensemble composé uniquement d'individus âgés de 15 à 20 ans. De la même manière, il est incorrect d'élaborer des conclusions sur l'exposition des travailleurs d'un même groupe sur la base d'un sous ensemble de mesures réalisées un 2 juillet seulement.

BONNES PRATIQUES DE STRATÉGIE

Pour assurer la représentativité des résultats, un certain nombre de règles d'échantillonnage doivent être respectées selon la chronologie suivante :

- ▶ premièrement, l'étude de situation : l'hygiéniste doit rassembler le maximum d'informations a priori.
- ▶ deuxièmement, la visite initiale au cours de laquelle l'hygiéniste doit compléter, affirmer ou infirmer les informations préalablement collectées.
- ▶ troisièmement, après la visite initiale, l'hygiéniste synthétise les informations et élabore la stratégie de prélèvement au regard des objectifs définis.

ETUDE DE SITUATION

Avant l'intervention en entreprise, une préparation minutieuse doit être réalisée pour rassembler toutes les informations disponibles à propos de **l'activité de l'entreprise**¹. C'est l'étape d'évaluation des risques (<http://www.inrs.fr/risques/chimiques/evaluation-risques.html>). C'est sur cette base qu'une **liste des nuisances chimiques ou biologiques** potentielles pourra être constituée.

La première et principale source d'information permettant de constituer cette liste est **l'expertise** dont peut se prévaloir l'hygiéniste industriel et ses collaborateurs.

En complément, des sources de données d'aide au repérage en français sont disponibles sur le site <http://www.inrs.fr>:

- ◆ des bases de données :
 - ▶ Solvex (repérage des composés organiques volatils – COV, des poussières, des métaux, des acides, des bases... <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/solvex.html>) ;
 - ▶ Fibrex (repérage des fibres sauf l'amiante <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/fibrex.html>) ;
 - ▶ Scol@miante (repérage des niveaux d'empoussièrement en amiante par processus : triptyque activité, matériau et technique combiné avec les protections collectives mises en place – travail à l'humide et captage à la source <http://scolamiantes.inrs.fr>) ;
 - ▶ Seirich (aide au repérage des produits <http://www.seirich.fr>) ;
 - ▶ Mixie (repérage de cocktails d'agents chimiques ayant des effets similaires sur l'organisme humain auxquels un travailleur est susceptible d'être exposé <http://www.inrs-mixie.fr>) [1];
- ◆ des brochures traitant de différents sujets souvent spécifiques (nanomatériaux, activités de nettoyage...) ;
- ◆ les fiches d'aide au repérage (FAR) (<http://www.inrs.fr/actualites/nouvelles-far-fas.html>) sont un ensemble de documents rédigés par les CARSAT fournissant des éléments au sujet de l'exposition aux substances Cancérogènes, Mutagènes ou Reprotoxiques (CMR) par secteur d'activité : métiers de l'impression, renouvellement de façades... ;
- ◆ les articles scientifiques, en français, dans la revue Hygiène et Sécurité du Travail (<http://www.hst.fr>). A titre d'exemple :
 - ▶ du nouveau dans la prévention des risques chimiques : chrome VI, styrène... (2015, HST 238)
 - ▶ bilan des mesures de prévention mise en œuvre pour le 1,3 butadiène (2016, HST 243)
 - ▶ panorama des risques professionnels dans la filière des DEEE (2017, HST 247)
 - ▶ approche des risques chimiques et biologiques dans le secteur du compostage (2010, HST 221)
 - ▶ valeurs guides endotoxines. Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols (2015, HST 239) et repérage des endotoxines en milieu de travail (2011 – TC138)
 - ▶ panorama des expositions professionnelles à des composés organiques volatils entre 2003 et 2010 (2011 - ND2349)
 - ▶ enquête sur l'utilisation industrielle des nano-objets. Difficulté d'identification par les établissements (2011 - ND2340) et utilisation de nanomatériaux (2012 – ND2355)
 - ▶ utilisation des amides en France (2010 - ND2329)

Au niveau français, le site institutionnel <http://www.travail-emploi.gouv.fr> recense un ensemble de documents réglementaires. Par ailleurs, le site <http://www.bossons-fute.fr> répertorie un ensemble de fiches métiers listant à chaque fois les nuisances possibles.

¹ L'activité est souvent transcrite sous forme d'un code APE ou NAF : Nomenclature des Activités Françaises (défini par l'INSEE). Dans la plupart des cas, ce code est connu de l'entreprise

Des sources de données internationales peuvent également être consultées, souvent sous forme d'articles scientifiques en anglais dans des revues internationales, par exemple :

- ▶ Henn, S.A. et al.; Characterization of Lead in US Workplaces Using Data From OSHA's Integrated Management Information System; Am. Jour. Ind. Med.; 54 ; 356-365; 2011 : plomb
- ▶ Clerc et al. ; Assessment of Occupational Exposure to chemicals by Air Sampling for Comparison with Limit Values: The Influence of Sampling Strategy; Ann. Occ. Hyg.; 58 ; 437-449; 2014
- ▶ Sauvé et al. ; Silica Exposure During Construction Activities: Statistical Modeling of Task-Based Measurements from the Literature; Ann. Occ. Hyg.; 12; 2012
- ▶ Scarselli et al. ; National Estimates of Exposure to Formaldehyde in Italian Workplaces; Ann. Wor. Exp.; 61 ; 33-43 ; 2017
- ▶ Lavoué, J. et al.; Statistical Modelling of Formaldehyde Occupational Exposure Levels in French Industries 1986-2003; Ann. Occ. Hyg.; 50 ; 305-321; 2006: formaldéhyde

NOTE : lors de l'étude de situation, les agents chimiques et biologiques émis peuvent être identifiés : Poussières, fumées, gaz d'échappement, produits issus de réactions chimiques, endotoxines, mycotoxines, particules ultrafines...

Une fois cette liste de nuisances chimiques ou biologiques constituée, une étape **d'estimation des dangers et des voies et niveaux d'exposition** peut être réalisée. Ces informations pourront être collectées via des recherches sur Internet, spécifiques aux nuisances identifiées.

Les dangers liés aux agents chimiques et biologiques sont aisément consultables sur Internet :

- ◆ l'aide-mémoire technique sur les VLEP (ED 984) ;
- ◆ la note technique : valeurs guides endotoxines (NT 25) ;
- ◆ la base de données solvants de l'INRS <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/solvants.html> ;
- ◆ les fiches toxicologiques <http://www.inrs.fr/publications/bdd/recherche-fichetox-criteres.html> ;
- ◆ les fiches Demeter pour les reprotoxiques <http://www.inrs.fr/publications/bdd/demeter.html> ;
- ◆ les pictogrammes et les mentions de danger renseignés sur les fiches de données de sécurité (FDS) et les étiquettes des produits donnent des informations fondamentales. Les références peuvent être consultées sur le site de l'OSHA <https://osha.europa.eu/fr/themes/dangerous-substances> ;

La plupart des publications scientifiques en français ou en anglais mentionnées plus haut contiennent des estimations de niveaux d'exposition. Aucune voie d'exposition ne doit être négligée, certaines substances chimiques pouvant être facilement absorbées par la peau ou ingérées, selon les procédés mis en œuvre et l'organisation du travail.

A l'issue de cette étape préalable, la liste des agents chimiques ou biologiques et les éléments bibliographiques collectés seront un support précieux pour la visite initiale. D'autres **informations propres à l'entreprise** sont à recueillir ou consulter, entre autres :

- ◆ le DUER ;
- ◆ les résultats de mesurages antérieurs ;
- ◆ le secteur d'activité de l'entreprise ;
- ◆ les tâches et métiers rencontrés ;
- ◆ les procédés rencontrés ;
- ◆ les catégories de produits rencontrés ;
- ◆ l'effectif ;
- ◆ l'organisation générale du travail (journée, week-end, 3X8, etc.) ;
- ◆ un plan de masse de l'établissement

Cette liste demeure cependant une source d'informations partielle, qui devra impérativement être critiquée lors de la visite.

Par exemple, pour des employés d'une grande surface de jardinerie, les produits associés aux situations de travail :

Tâche 1 : mise en scène des produits de jardinage extérieurs : manipulation de sable et graviers

Produit : poussières inhalables

Tâche 2 : rempotage des plantes avant la vente au détail

Produit : terreau / compost / engrais

Tâche 3 : nettoyage des cages des animaux vivants

Produits : déchets organiques, solutions de nettoyage

VISITE INITIALE

La visite initiale a pour objectif d'identifier tous les facteurs qui peuvent influencer la variabilité de l'échantillon afin qu'il soit représentatif. Pour ce faire, l'hygiéniste va observer les postes de travail afin de confirmer, de compléter ou d'infirmer les informations bibliographiques. Les grandes familles de facteurs pouvant influencer cette variabilité sont :

- ◆ le ou les produit(s) utilisé(s), la ou les substance(s) prélevée(s)²,
- ◆ les propriétés biologiques ou physico-chimiques : pour un aérosol, la morphologie, la granulométrie, la composition chimique en général pour un agent émis par un procédé (fumées de soudage par exemple)
- ◆ les quantités correspondantes ;
- ◆ la fréquence d'exposition ;
- ◆ le procédé mis en œuvre ;
- ◆ les caractéristiques environnementales comme l'utilisation en plein air ou la taille de l'atelier ;
- ◆ les mesures de protection collective mises en œuvre ;
- ◆ l'organisation du travail (posté, en journée, travail batch...) ;
- ◆ tout autre facteur pertinent dépendant du contexte.

Ces facteurs doivent être classés par ordre d'importance vis-à-vis de la représentativité de l'échantillon. Par exemple, si l'objectif est d'évaluer l'émissivité d'une machine, il est important de considérer la cadence de fonctionnement de la machine. S'il s'agit d'établir un diagnostic réglementaire, il est important de considérer les procédés dans lesquels l'agent chimique ou biologique est utilisé (dispersif, ouvert ou clos). S'il s'agit de mesurer l'exposition d'un travailleur en particulier, il est important de considérer l'organisation de son travail.

Une fois que les facteurs importants sont identifiés, il est nécessaire de déterminer leurs amplitudes. Par exemple, la cadence de fonctionnement peut être réduite, normale ou élevée ; le procédé peut être clos (un réacteur à chargement automatique, un vase d'expansion...) ou dispersif (un nettoyeur haute pression, un pistolet à peinture...) ; l'organisation du travail peut être à mi-temps ou à temps plein.

A l'issue de cette étape, l'hygiéniste doit disposer de tous les éléments qui vont lui permettre de construire la stratégie de prélèvement.

Par exemple, pour des employés d'une grande surface de jardinerie, les éléments recensés par situation lors de la visite initiale :

Tâche 1 : mise en scène des produits de jardinage extérieurs : manipulation de sable et graviers

² Dans le cas de la caractérisation des substances chimiques, le screening <http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-intervention-screening.pdf> peut être utilisé. Cette technique consiste à prélever un échantillon d'air qui sera analysé en laboratoire par thermo désorption et ainsi permettre la qualification des substances présentes

Produit : poussières inhalables (VLEP-8h)

Procédé : Ouverture de sacs, répartition au sol avec un râteau

Lieu de travail : en plein air

Protection collective : aucune

Tâche 2 : rempotage des plantes avant la vente au détail

Produits : terreau / compost / engrais (VLEP-8h, absence de VLEP pour les bio-aérosols)

Procédé : manuel

Lieu de travail : en local industriel

Protection collective : ventilation générale

Tâche 3 : nettoyage des cages des animaux vivants

Produits : solutions de nettoyage / déchets organiques
(solvants – VLEP-CT, absence de VLEP pour les bio-aérosols)

Procédé : ramassage et nettoyage manuel aux solvants

Lieu de travail : à l'intérieur du magasin

Protection collective : ventilation générale

ELABORATION DE LA STRATÉGIE DE PRÉLÈVEMENT

La stratégie de prélèvement vise à constituer un échantillon de mesures représentatif de la variabilité des concentrations. Dans ce contexte, **la stratégie de prélèvement doit être définie en fonction des objectifs poursuivis et des moyens disponibles.**

En fonction de l'objectif, la stratégie de prélèvement peut être aisée à élaborer. Par exemple, pour faire une cartographie, des dispositifs de prélèvement sont disposés selon un maillage dans l'unité de travail. Pour estimer l'exposition d'un travailleur en particulier, des mesures systématiques à fréquence définie doivent être réalisées <http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-principe.pdf> .

Lorsque l'objectif est d'évaluer l'exposition de travailleurs à des produits chimiques ou biologiques, des **Groupes d'Exposition Similaire (GES)** [2] sont constitués. Il s'agit d'ensembles de travailleurs pour lesquels l'hygiéniste suppose que l'exposition à une substance sera du même ordre de grandeur. Pour élaborer les GES et y affecter les travailleurs, l'hygiéniste s'appuie sur les conclusions issues de la visite initiale. Les facteurs de variabilité deviennent alors les critères qui permettent de définir un GES.

- ◆ Pour constituer un GES, une méthodologie en 6 étapes peut être employée :
 - ▶ Cartographie de l'entreprise : identifier les ateliers, les postes de travail, les tâches, les équipements de protection...
 - ▶ Associer les substances utilisées aux tâches menées par le travailleur
 - ▶ Caractériser les métiers de l'entreprise
 - ▶ Associer un ou des métiers aux tâches
 - ▶ Constituer les GES à partir des associations tâches/métiers/substances
 - ▶ Compléter les GES à l'aide d'informations spécifiques collectées lors de la visite initiale

La variabilité à l'intérieur du GES ou **variabilité spatiale** [3] couvre les travailleurs, les tâches, les sources d'émission, les équipements de protection collective, la durée d'exposition, l'éloignement par rapport à la source d'émission... Il doit aussi tenir compte de la variabilité d'un jour à l'autre ou **variabilité temporelle** [3]. La réalisation d'un grand nombre de mesurages de courte durée sur un seul opérateur pendant une seule journée de travail ne permet pas de prendre en compte la variabilité temporelle. La réalisation de mesures systématiques de longue durée sur tous les travailleurs d'un GES sur une seule journée ne permet pas non plus de prendre en compte cette variabilité. Pour la prendre en compte, l'hygiéniste doit planifier des prélèvements sur différentes journées, différentes saisons et sur différents travailleurs. Pour certaines substances sensibles à la saisonnalité, en particulier les bio-aérosols, la prise en compte de la variabilité temporelle revêt un rôle crucial.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de recourir à des contrôles biologiques pour appréhender au mieux l'exposition professionnelle. C'est particulièrement le cas pour les expositions à des agents chimiques peu volatils, mais dotés d'un fort pouvoir de pénétration percutanée (IHSkinPerm <http://www.inrs.fr>).

Une fois ces informations collectées, un affinage des besoins de collecte d'échantillons pourra être réalisé. Il pourra entre autre s'appuyer sur des outils de **modélisation**. La modélisation des expositions permet d'estimer l'exposition à partir des facteurs de variabilité³.

Par exemple, pour des employés d'une grande surface de jardinerie, la constitution des GES :

Mise en scène des produits de jardinage extérieurs : GES 1

Document Unique : situation de manipulation de sable et graviers évaluée « risque faible » par l'employeur.

Rempotage des plantes avant la vente au détail : GES 2

Document Unique : situation à risque avéré pour les engrais phosphatés ;

Seirich : situation classée à risque « très élevé » (rouge) substance corrosive.

Nettoyage des cages des animaux vivants : GES 3

Document Unique : situation incertaine ;

Solvex : niveaux d'exposition intermédiaires pour les solutions de nettoyage ;

Seirich : situation classée risque « élevé » (orange) pour les poussières et les solutions de nettoyage

Bio-aérosols : empoussièrément élevé, suspicion d'exposition ;

Finalement, les modalités exactes des prélèvements devront être déterminées dans un document qui sera utilisé comme guide durant la campagne d'intervention : le **plan d'échantillonnage**. Il prend en compte les objectifs et les résultats de la modélisation : les substances, le type et la méthode de prélèvement, le nombre de mesurages à effectuer, la durée des prélèvements, le nombre de travailleurs... Ce plan permettra aussi de définir un **planning d'intervention** pour le(s) préleveur(s). Il intégrera toutes les contraintes relevées lors de la visite initiale par exemple des tâches exposantes et de courtes durées réalisées à des horaires précis au cours de la journée de travail.

Ces modalités doivent être mises en adéquation avec les besoins réels de collecte et les moyens dont l'hygiéniste dispose. Par exemple, des priorités de prélèvements peuvent être données en fonction des propriétés toxicologiques, des quantités de produits utilisés ou des VLEP. De plus, la confrontation des situations observées avec des situations similaires ou antérieures, même dans une autre entreprise à l'activité similaire, peut être informative.

Selon les informations disponibles *a priori*, un nombre minimal de mesures peut être défini par GES [1].

Informations disponibles a priori	Nombre minimal de mesures
Situation d'exposition limitée	3
Situation d'exposition incertaine	6
Situation d'exposition élevée	Aucune : mettre en place des actions correctives

En respectant ces préconisations, une estimation "raisonnable" de l'exposition pourra être obtenue.

La durée d'un prélèvement est conditionnée par la limite de quantification de la substance et le type de VLEP. Celle dont la période de référence est 8 heures (**VLEP-8h**) a pour objectif de protéger la santé des travailleurs exposés de manière régulière à un agent chimique pendant la durée d'une vie de travail. Elle prend en compte les effets toxicologiques chroniques – ou long terme - de la substance. La VLEP dont la période de référence est 15 minutes (**VLEP-CT**) a pour objectif de protéger les travailleurs des effets toxiques aigus- ou à court

³ C'est une thématique de recherche forte dans le domaine de l'hygiène industrielle, de nombreux outils informatiques ont été publiés (Stoffenmanager, ECETOC-TRA, IH-MOD, etc.) <http://www.inrs.fr/risques/chimiques/evaluation-risques.html>.

terme. Une VLEP dite de « plafond », est une valeur qui ne doit être dépassée à aucun moment lié à l'effet irritant fort ou corrosif ou pouvant causer un effet grave potentiellement irréversible de la substance. L'évaluation de l'exposition à de telles substances nécessite l'emploi d'un équipement de métrologie en temps réel sélectif [4].

En pratique, un résultat pour comparaison à la VLEP-8h peut être obtenu à partir d'un prélèvement unique ou d'une série de prélèvements **consécutifs séquentiels**. L'intérêt est de pouvoir, dans ce deuxième cas, mettre en évidence d'éventuelles variations d'exposition au cours du poste de travail permettant d'affiner le diagnostic et d'aider à l'établissement de mesures correctives.

Il faut également souligner que le volume d'air prélevé et donc la stratégie de prélèvement peuvent être également imposés par des contraintes liées à la méthode d'analyse elle-même et à ses performances (sensibilité, limite de quantification) <http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-analyse-principe.pdf>. Par exemple, pour un polluant donné, une méthode d'analyse avec une limite de quantification élevée nécessitera un volume de prélèvement important et donc, le plus souvent, un temps de prélèvement d'autant plus important que la concentration du polluant sera faible, le débit de prélèvement étant, quant à lui, très souvent fixé par des considérations d'efficacité du prélèvement.

Par exemple, pour des employés d'une grande surface de jardinerie, la stratégie de prélèvement:

GES 1 : il semble que la situation de travail ne soit pas trop exposante pour les travailleurs. Un nombre réduit de mesures (au moins 3 de 8h) pourra confirmer cette hypothèse ;

GES 2 : il semble que la situation de travail soit trop exposante pour les travailleurs, des mesures de prévention devraient être mises en œuvre avant de faire des mesures ;

GES 3 : aucune hypothèse ne peut être posée, il faut réaliser suffisamment de mesures (au moins 6 de 15 minutes par substance en intégrant les sources de variabilité) pour estimer raisonnablement l'exposition. Comme l'une des substances ne possède pas de valeur limite, les bio-aérosols, des prélèvements de référence à un poste de travail non exposé, comme un local tertiaire par exemple, doivent être réalisés pour permettre d'assurer l'interprétation des résultats.

Enfin, le rapport de stratégie de prélèvement est transmis à l'entreprise. L'un des éléments de ce rapport, le plan d'échantillonnage, est transmis au préleveur en charge de réaliser la campagne de prélèvement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. Clerc et al ; Taking multiple exposure into account can improve assessment of chemical risks; Annals of Work Exposures and Health, 2017
- [2] AFNOR ; NF EN 689 – NF X43-279- Mesurage de l'exposition par inhalation d'agents chimiques – Stratégie pour vérifier la conformité à des valeurs limites d'exposition professionnelle, 2018
- [3] H. Kromhout et al ; Temporal, personal and spatial variability in dermal exposure ; Annals of occupational hygiene, 2001
- [4] S. Bau et al ; Métrologie en temps réel de substances chimiques au poste de travail : intérêts et limites, 2015

AUTEURS

G. Mater ; F. Clerc

INRS, Métrologie des polluants (metropol@inrs.fr)

HISTORIQUE

Version	Date	Modifications
1	Octobre 2015	Création de la fiche
2	Mai 2019	Mise à jour de la bibliographie Ajout notion valeur plafond
3	Octobre 2023	Correction noms d'auteur