



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département : Sécurité industrielle et environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et sécurité industrielle
Spécialité : Sécurité Prévention/ intervention

Thème

Evaluation de la toxicité : Etude de la relation Dose-Effet en milieu professionnel

Présenté et soutenu publiquement par :

TIARTI Sid Ahmed Ryad

et

RIAHI MARWA

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme BELOUFA Khadidja	MAA	IMSI	Président
Mme. LEBSIR Hayet	Pr	IMSI	Encadreur
Mme MECHKEN Amel	MAA	IMSI	Examineur

Année 2020/2021

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à :

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.

A tous les membres de ma famille et mes amis

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

TIARTI SID AHMED RYAD

.....
Je dédie ce modeste travail :

A mes parents.

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel qui m'a permis de réaliser les études pour lesquelles je me destine et par conséquent ce mémoire Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A ma chère tante zoulíkha, et mes cher amis Kamar-eddine, Ryad, Sarah, Raghda, Amina et Ilhem.

A mes très chères Amel et Bahidja

A mon binôme Sid Ahmed.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

RIAHI MARWA

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la bonne santé pour accomplir notre travail et de nous avoir guidés vers le bon chemin tout le long de nos études.

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à Mme. **LEBSIR Hayet** qui a fait preuve d'une gentillesse, d'une compréhension et d'une patience infinies envers nous en vue de surmonter nos difficultés, Et aussi pour ces conseils, disponibilité et son suivi pendant la préparation de ce mémoire pendant toute la durée de l'encadrement*

Nous tenons à remercier également les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.

*Aussi nous voudrions remercier Mr. **BOURAS Mourad** pour tous ces conseils et son encouragement ainsi que tout le personnel du département de sécurité au sein du complexe **GP1Z** et surtout Mr. **LAKHDARI Halim** et **BOUAZZA Krachai Amel**.*

*Un grand merci à l'ensemble des enseignants de **I.M.S.I** qui ont contribué à notre formation, nos camarades qui étaient à nos côtés, aux liens fraternels et amicaux qui ont germé dans nos esprits, surtout **BOUTIBI Boutlelis** et **BOURNANE Amel**.*

Sans oublier nos remerciements à nos parents et à ceux qui nous ont aidés et encouragés de près ou de loin.

Sid Ahmed/ Marwa

Liste des Tableaux, Liste des Figures et
Liste des abréviations

Liste des tableaux :

Tableau 1.1: les classes de danger sur la santé selon la réglementation CLP.....	6
Tableau 1.2: Classification CMR des substances dangereuses	10
Tableau 1.3: Les symboles et phrases de risque des substances CMR.....	11
Tableau 1.4: Classification CIRC des substances dangereuses	12
Tableau 1.5: Pénétration des gazs selon la solubilité	15
Tableau 1.6: Pénétration des particules dans la voie pulmonaire	16
Tableau 2.1: Classification des produits chimiques.....	34
Tableau 2.2: Principaux effets liés aux différents stades du développement humain	43
Tableau 3.1: caractéristiques réglementaires de la laine minérale.....	70
Tableau 3.2: Caractéristiques du polyuréthane.....	75
Tableau 4.1 : Questionnaire sur les symptômes liés à la laine minérale en fonction de plusieurs facteurs.....	84

Liste des figures :

Figure 1.1: : Schéma des voies pulmonaires supérieures et inférieures.....	22
Figure 1.2: Schéma présentant les couches de la peau.....	24
Figure 1.3: Schéma de l'œil.....	25
Figure 1.4: Schéma générale du cheminement des toxiques dans le corps.....	26
Figure 2.1: : Relation des effets et l'interaction.....	31
Figure 2.2: : La réversibilité et l'irréversibilité d'une atteinte résultant d'une intoxication....	36
Figure 2.3: Effet mutagène	38
Figure 2.4: la sensibilisation.....	40
Figure 2.5: relation dose-effet.....	46
Figure 2.6: La relation dose-réponse.....	48
Figure 2.7: Type de courbe dose-réponse.....	49
Figure 2.8: Les équipements de protection individuelle.....	56
Figure 2.9: Types d'appareil de protection respiratoire.....	57
Figure 2.10: Gants de protection.....	58
Figure 2.11: Protection faciale.....	59
Figure 2.12: Combinaison de protection.....	60
Figure 3.1: les laines minérales d'isolation.....	69
Figure 3.2: Schéma descriptif du processus de fabrication des laines minérales.....	72
Figure 3.3: la pose du polyuréthane.....	74
Figure 3.4: les types du produit fini du polyuréthane.....	75
Figure 4.1: Localisation du complexe GP1Z sur la zone industrielle d'Arzew.....	81
Figure 4.2: représentation graphique des résultats de la question °1.....	85
Figure 4.3: représentation graphique des résultats de la question °2.....	70
Figure 4.4: représentation graphique des résultats de la question °3:.....	74
Figure 4.5: représentation graphique des résultats de la question °4.....	75
Figure 4.6: représentation graphique des résultats de la question °5.....	76
Figure 4.7: représentation graphique des résultats de la question °6.....	76
Figure 4.8: représentation graphique des résultats de la question °7.....	77
Figure 4.9: représentation graphique des résultats de la question °8.....	77
Figure 4.10: représentation graphique des résultats de la question °9.....	78
Figure 4.11: représentation graphique des résultats de la question °10.....	78
Figure 4.12: représentation graphique des résultats de la question °11.....	79
Figure 4.13: représentation graphique des résultats de la question °12.....	79
Figure 4.14: schéma Récapitulatif des symptômes	80
Figure 4.15: représentation graphique des effets sur les voies orales.....	81
Figure 4.16: représentation graphique des effets sur les voies cutanées.....	82
Figure 4.17: représentation graphique des effets sur les voies oculaires.....	82
Figure 4.18: représentation graphique des effets sur les voies respiratoires.....	83

Liste des abréviations :

SGH : Système General Harmonisé

CLP : Classification, Labelling, Packaging

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ADN : Acide Désoxyribonucléique

SNC : Système Nerveux Central

SNP : Système Nerveux Périphérique

QSAR : Quantitative Structure-Activity Relationship

VTR : Valeurs Toxicologique de Reference

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....

CHAPITRE1 : Les fondements de la toxicité

1. Introduction :	2
2. Notion de base :	2
3. Règlementation et classification :	5
3.1. Classification réglementaire des toxiques.....	6
3.1.1. Classification réglementaire CLP	6
3.1.2. Classification réglementaire de l'union européenne	10
3.1.3. Classification du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). 12	
4. Caractérisation des expositions :	12
5. Les mécanismes de la toxicité :	13
5.1. Mécanismes de l'action des toxiques au niveau pulmonaire	14
5.2. Mécanismes d'action des toxiques au niveau de la peau :	16
5.3. Mécanismes d'action des toxiques au niveau oculaire :	17
6. Cheminement des toxiques dans l'organisme.....	18
6.1. L'entrée (ou l'absorption).....	19
6.2. Distribution des xénobiotiques	19
6.3. Métabolisme des xénobiotiques	19
6.4. Elimination des xénobiotiques (l'excrétion)	20
1. L'effet toxique.....	21
2. Les facteurs qui peuvent influencer les effets toxiques.....	22
2.1. La toxicité :	22
2.2. L'individu :	23
2.3. L'environnement :	24
3. Principaux types de toxiques selon leur réactivité	25
3.1. Classification des effets toxiques	25
3.2. Types d'actions :	26
4. Différents types d'effets toxiques ;.....	28
4.1. Fonctionnels et Lésionnels	28
4.2. Effet mutagène	29
4.3. Effet immunologiques.....	30

4.4.	Effet Génotoxique :	31
4.5.	Effet cancérogène :	32
4.6.	Les effets sur la reproduction et le développement :	32
5.	Description des manifestations par systèmes biologiques et organes cibles	34
5.1.	L'hépatotoxicité.....	34
5.2.	La néphrotoxicité).....	34
5.3.	La neurotoxicité	34
5.4.	La dermatotoxicité:.....	35
5.5.	La toxicité de l'appareil respiratoire	36
5.6.	La toxicité cardiovasculaire	36
6.	Relation des doses avec l'effet toxique.....	36
6.1.	La relation dose-effet.....	37
6.2.	La relation dose-réponse	38
7.	Les éléments de base des tests toxicologiques pour l'évaluation de toxicité	40
7.1.	Types d'études toxicologiques.....	41
7.1.1.	Études de toxicité sur la reproduction.....	41
7.1.2.	Études de tolérance locale.....	42
7.1.3.	Études de génotoxicité.....	42
7.1.4.	Études de carcinogénicité	42
7.2.	Théorie de létalité :	43
7.3.	Valeurs toxicologiques de références (VTR) :	44
7.4.	Les seuils d'expositions	45
8.	Le milieu professionnel face aux risques toxiques :	46
8.1.	Les mesures techniques :	46
8.1.1.	Prévention collective :	46
8.1.2.	Prévention individuelle :	46
8.2.	Rôle du médecin de travail :	51
8.2.1.	Visite d'embauche :	51
8.2.2.	Visite périodique :	52
8.2.3.	Visite spontanée :	52
8.3.	Rôle de l'employeur :	52
8.4.	Rôle des travailleurs :	53
1.	Introduction	55
2.	But.....	55
3.	Domaine d'application	55
4.	Choix de l'isolant.....	56
4.1.	Critères du choix de l'isolant	56

4.1.1.	Exigences fonctionnelles	56
4.1.2.	Considérations de sécurité.....	57
4.1.3.	Optimisation des coûts	58
4.1.4.	Protection anticorrosion	58
4.2.	Isolant chaud	58
4.2.1.	Composition	59
4.2.2.	Caractéristiques.....	59
4.2.3.	Impuretés présentes :	60
4.2.4.	Cycle de vie	61
4.3.	Isolant froid	64
4.3.1.	Caractéristiques du polyuréthane.....	64
4.3.2.	Cycle de vie	66
4.4.	Les effets sur la santé.....	67
4.5.	Réglementation	68
1.	DESCRIPTION DU SITE « COMPLEXE GP1Z »	70
1.1.	Fiche technique du complexe GP 1Z :	70
1.2.	Organisation générale	71
2.	Objectif :.....	72
3.	Enquête-échantillon :	72
4.	Discussion des résultats :	74
5.	Schéma Recapulatif :	80
6.	Diagnostic :	81
7.	Recommandations :.....	84
7.1.	La prévention technique collective :	84
7.2.	La prévention technique individuelle :	85
7.3.	La formation à la sécurité	85
7.4.	La surveillance médico-professionnelle.....	85
7.5.	La gestion des déchets :	86
	Bibliographie.....	90
	Annexe	

Introduction Générale

Introduction générale

L'évaluation des risques pour l'homme et l'environnement liés à l'exposition combinée à un ou plusieurs produits chimiques pose certains problèmes aux scientifiques qui mènent les études, aux évaluateurs des risques qui doivent interpréter les données ainsi qu'aux gestionnaires des risques qui doivent déterminer les utilisations des produits chimiques et les limites d'exposition à définir pour assurer la sécurité des personnes et de l'environnement.

Cela est dû essentiellement au grand nombre de produits chimiques en cause, au fait que les personnes et l'environnement y sont exposés de différentes manières, et que ces substances agissent et interagissent de nombreuses façons une fois qu'elles pénètrent dans un organisme.

L'évaluation du risque des produits chimiques pour l'homme et l'environnement est considérée comme la principale application de l'écotoxicologie. Les relations entre écotoxicologie et évaluation du risque sont à double sens, c'est l'écotoxicologie qui fournit les bases scientifiques et les données qui permettront l'évaluation du risque, mais inversement, ce sont les résultats de l'évaluation du risque qui créent et génèrent les études écotoxicologiques. (BARBAULT, 1993)

L'objectif de ce mémoire c'est l'évaluation de la toxicité des laines minérales aux salariés du Complexe GP1Z de l'activité AVAL du groupe SONATRACH, et de ses conséquences sur la santé humaine à partir des statistiques obtenues.

Pour atteindre notre objectif, nous avons réparti notre travail en quatre chapitres. Les trois premiers constituent la partie théorique:

- Le premier chapitre aborde les fondements de la toxicité (les mécanismes, le cheminement et la classification réglementaire...).
- Le deuxième chapitre les effets des toxiques et l'étude toxicologique.
- Le troisième chapitre est consacré à l'identification des laines minérales (buts, compositions, caractéristiques et cycle de vie...).
- Le quatrième chapitre représente la partie pratique de notre mémoire dans lequel nous évoquerons une étude statistique sur les effets toxiques liés à la manipulation de la laine minérale au sein de l'entreprise.

Enfin, le présent mémoire sera achevé par une conclusion générale, résumant le travail accompli.

CHAPITRE I

Les fondements de la toxicité

CHAPITRE1 : Les fondements de la toxicité

1. Introduction :

La toxicologie industrielle est une science qui étudie les substances toxiques manipulées en milieu industriel. Elle traite de l'identification, de l'analyse, du mécanisme d'action et des interactions des corps toxiques industriels, du diagnostic des intoxications, du traitement et de la prévention des effets toxiques qu'ils peuvent engendrer.

Son objectif est la prévention des altérations de la santé des travailleurs exposés aux substances utilisées dans l'industrie.

Les produits toxiques présentent des dangers pour les personnes qui les manipulent et pour l'environnement. Ils peuvent aussi provoquer des effets plus insidieux, après des années d'exposition du travailleur à de faibles doses, voire plusieurs années après la fin de l'exposition. Ces dangers immédiats et différés doivent être pris en compte dans le cadre d'une démarche de prévention des risques toxiques.

2. Notion de base :

La toxicologie est l'étude des substances toxiques et des poisons, et plus précisément, l'identification et l'évaluation quantitative des conséquences néfastes liées à l'exposition à des agents physiques, chimiques ou de toute autre nature. Cette science très ancienne s'intéresse aux sources et aux modes de contamination, aux effets des toxines sur les organes et les organismes et au moyen de détecter et de lutter contre ces effets. Elle est aussi responsable de démonstration et de la caractérisation de la toxicité avant leur utilisation et leur commercialisation. (FUTURA SANTE).

La toxicité est la capacité d'une substance à provoquer des effets néfastes et mauvais pour la santé sur toute forme de vie, telles qu'un être humain, une bactérie ou une plante ou une sous-structure de cet organisme telle que le foie. (wikipedia).

Un toxique, est une substance capable de perturber le fonctionnement normal d'un organisme vivant. Il peut être de source naturelle (ex. : poussières, pollen) ou artificielle ou de nature chimique ou biologique (Lapointe, 2004).

Risque d'intoxication est tout produit chimique qui entre en contact avec l'organisme peut y pénétrer et perturber son fonctionnement normal. Par leur action sur les tissus vivants, les produits chimiques qui pénètrent dans l'organisme agressent Les différents organes et créent

des dysfonctionnements voire des destructions irréversibles. C'est le phénomène des intoxications par les produits chimiques divers.

De nombreux facteurs interviennent dans les processus d'intoxication ; les plus importants sont:

- la nature et l'état physique du produit ;
- la voie de pénétration dans le corps ;
- la durée de contact et d'exposition aux produits ;
- l'action du produit sur les organes.

L'écotoxicologie est une discipline scientifique étudie le comportement et les effets d'agents « polluants » sur les écosystèmes née de la reconnaissance du fait qu'un nombre croissant de toxines (polluants) ont contaminé et continuent à contaminer tout ou partie de la biosphère (wikipedia).

Toxicologie du développement : l'étude des effets nocifs sur un organisme en développement qui peuvent résulter d'une exposition antérieure à la conception, contemporaine au développement prénatal ou postnatal, jusqu'à la maturation sexuelle. La toxicité pour le développement se manifeste principalement par 1) la mort de l'organisme, 2) une anomalie structurelle, 3) une altération de croissance, 4) un déficit fonctionnel. Autrefois, la toxicologie du développement était souvent désignée par "tératologie".

Un danger : représente une toxicité potentielle pouvant survenir dans un cadre ou une situation déterminée. (Holmberg).

Un risque est la probabilité d'apparition d'un effet nocif spécifique. Il est souvent exprimé en pourcentage de cas dans une population donnée pour une durée déterminée. Une évaluation du risque peut être faite à partir de cas réels ou par projection de cas futurs, basée sur des extrapolations. (Holmberg).

Le xénobiotique désigne une «substance étrangère», c'est-à-dire extérieure à l'organisme, par opposition aux composants endogènes. Les xénobiotiques comprennent les médicaments, les produits chimiques industriels, les poisons naturels et les polluants environnementaux. (Johanson).

Substance toxique : est une substance qui interrompt ou trouble gravement les fonctions vitales d'un organisme ou d'un écosystème. Elle ne se contente pas de tuer ponctuellement. En effet, comme un virus, la substance toxique tente de proliférer dans l'environnement en profitant de la faiblesse des défenses immunitaires des législations répressives de nos sociétés. Les substances toxiques les plus dangereuses sont écotoxiques et altèrent l'environnement global pour des siècles **Source spécifiée non valide.**

Absorption : Pénétration d'une substance dans une autre substance ayant généralement lieu entre un liquide et un gaz. Le terme est également utilisé pour désigner la transmission éventuellement accompagnée d'un transfert d'énergie d'un rayonnement au travers d'une substance **Source spécifiée non valide.**

Inhalation : Action d'inhaler ; Absorption par les voies respiratoires d'odeurs, de gaz, de poussières toxiques. (CNTRL, 2012).

Un effet est le résultat, conséquence de l'action d'un agent, d'un phénomène quelconque est un élément qui résulte d'une cause. L'élément peut être de deux natures : matériel ou immatériel.

Effet nocif : toute altération due au traitement s'écartant de la normalité prise comme référence, qui diminue la capacité d'un organisme à survivre, se reproduire ou s'adapter à l'environnement (Malard, 2018).

L'asphyxie est une situation dans laquelle le corps, l'organisme se trouve privé d'oxygène. Cet élément indispensable au fonctionnement de l'organisme n'atteint plus les organes vitaux (cerveau, cœur, reins, etc.). Les conséquences de l'asphyxie sont graves, voire vitales.

Avortement : il s'agit du décès ou de l'expulsion hors de l'organisme maternel d'un embryon ou d'un fœtus de moins de 500 grammes ou âgé de moins de 22 semaines (Corniou, 2013).

Lactation : Fonction organique qui consiste dans l'élaboration et la sécrétion du lait par la glande mammaire de la femme et de la femelle des Mammifères après la parturition. (CNTRL, 2012).

Morphologie : Description de la forme et de la structure d'un organisme. (Doctissimo, 2018).

3. Règlements et classification :

- ✚ Décret exécutif n° 97-254 du 3 Rabie El Aouel 1418 correspondant au 8 juillet 1997 relatif aux autorisations préalables à la fabrication et à l'importation des produits toxiques ou présentant un risque particulier (JO N°46 du 9 Juillet 1997, P16)
- ✚ Décret exécutif n° 10-19 du 12 janvier 2010 modifiant et complétant le décret exécutif n° 03-451 du 1er décembre 2003 définissant les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les matières et produits chimiques dangereux ainsi qu'aux récipients de gaz sous pression.
- ✚ Décret exécutif n°99-95 du 19 avril 1999 relatif à la prévention des risques liés à l'amiante.
- ✚ Décret n°84-378 du 15 décembre 1984, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains.
- ✚ Arrêté du 1er juillet 1971, relatif à la classification des maladies professionnelles.
- ✚ Arrêté interministériel du 9 juin 1997 fixant la liste des travaux où les travailleurs sont fortement exposés aux risques professionnels [1997, CIS 01-309].
- ✚ Arrêté interministériel du 5 Chaâbane 1424 correspondant au 1er octobre 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les risques liés à l'inhalation de poussières d'amiante [2003, CIS 03-1034].
- ✚ Arrêté interministériel du 15 juin 1999 relatif aux règles techniques que doivent respecter les entreprises effectuant des activités de confinement et de retrait de l'amiante [1999, CIS 00-1233].

3.1. Classification réglementaire des toxiques

3.1.1. Classification réglementaire CLP

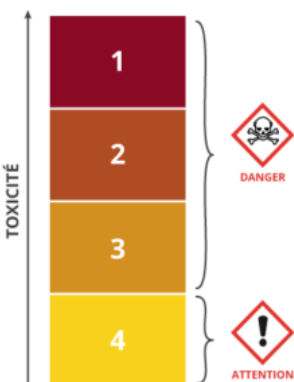
Le SGH (Système Général Harmonisé) est un ensemble de recommandations internationales développées depuis le début des années 90 au sein des Nations Unies, qui vise à **lier un symbole CLP à un numéro GHS**. Ayant pour objectif l'harmonisation des systèmes de classification et d'étiquetage des produits chimiques, à travers le monde.

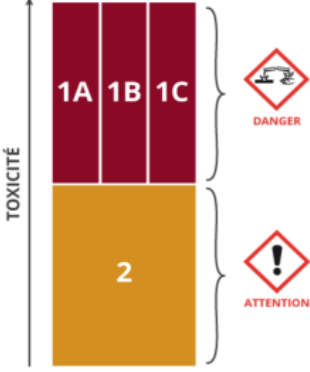

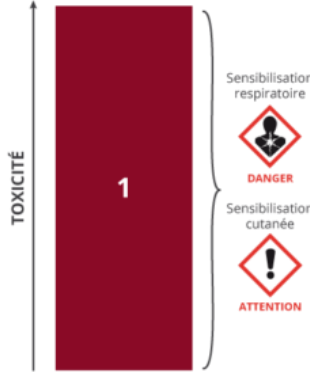
Le règlement CLP est l'instrument réglementaire permettant de faire appliquer les recommandations du SGH au sein de l'Union européenne. Il définit les obligations concernant la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges (Classification, Labelling, Packaging correspondent au sigle CLP).


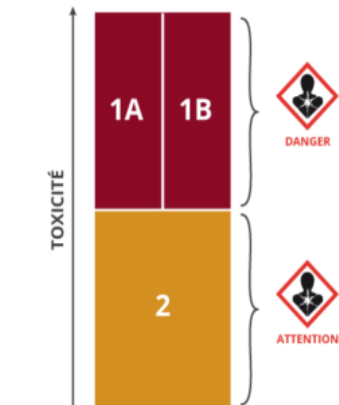
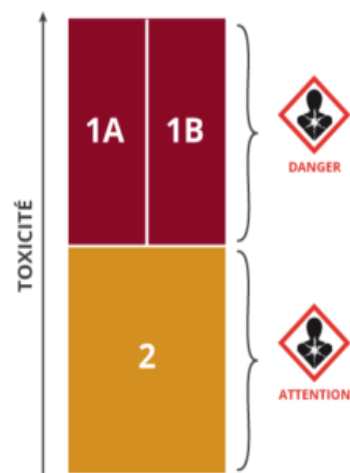
DIX CLASSES DE DANGERS (CLP) RELATIFS À LA SANTÉ

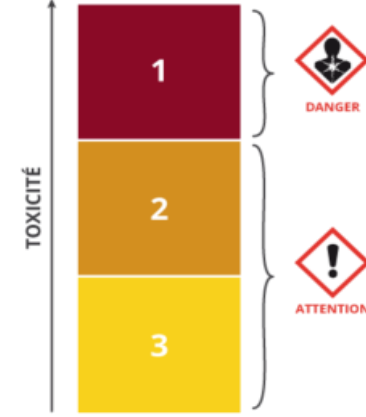
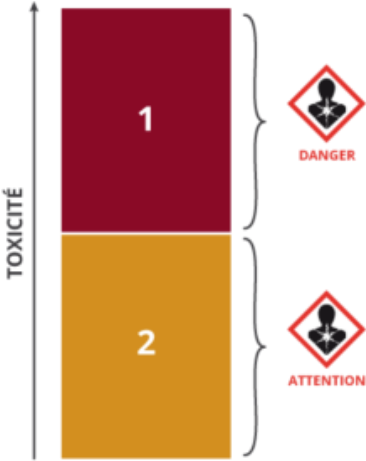
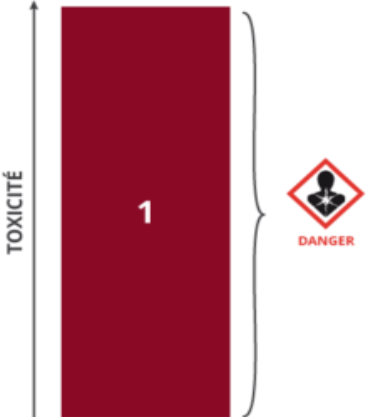
Dans la réglementation CLP, 10 classes de dangers relatifs à la santé sont définies. Chacune de ces classes peut être divisée de 1 à 4 catégories qui apportent des précisions sur les degrés de dangerosité.

Tableau 1.1: les classes de danger sur la santé selon la réglementation CLP

CLASSE DE DANGER	DEGRE D'ANGEROSITE	OBSERVATIONS
CLASSE DE DANGER 1 : TOXICITÉ AIGUË	 <p>Le diagramme illustre la hiérarchie de la toxicité aiguë en quatre degrés. À gauche, une flèche verticale pointe vers le haut et est étiquetée 'TOXICITÉ'. Les quatre degrés sont représentés par des rectangles empilés : le premier (1) est rouge foncé, le deuxième (2) est orange, le troisième (3) est orange clair, et le quatrième (4) est jaune. À droite de ces degrés, deux pictogrammes sont indiqués : le pictogramme 'DANGER' (un crâne et des os croisés) est associé aux degrés 1, 2 et 3, tandis que le pictogramme 'ATTENTION' (un triangle avec un point d'exclamation) est associé aux degrés 3 et 4.</p>	Ce sont des produits qui empoisonnent rapidement même à faible dose. Ils exercent leur toxicité par voie <i>orale, cutanée</i> ou par <i>inhalation</i> .

<p>CLASSE DE DANGER 2 : CORROSION OU IRRITATION CUTANÉE</p>		<p>Les produits de cette classe exercent une action destructrice ou provoquent une réaction inflammatoire par contact immédiat, prolongé ou répété avec la peau.</p>
<p>CLASSE DE DANGER 3 : CORROSION OU IRRITATION OCULAIRE</p>		<p>Les produits de cette classe exercent une action destructrice ou provoquent une réaction inflammatoire par contact immédiat, prolongé ou répété avec l'œil.</p>
<p>CLASSE DE DANGER 4 : SENSIBILISATION RESPIRATOIRE OU CUTANÉE</p>		<p>Les produits Sensibilisants ou Allergisants peuvent donner lieu à une réaction d'hypersensibilité respiratoire ou cutanée produisant des effets indésirables lors d'une exposition ultérieure.</p>

<p>CLASSE DE DANGER 5 : MUTAGÉNICITÉ SUR CELLULES GERMINALES</p>		<p>Les produits mutagènes peuvent produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence d'apparition.</p>
<p>CLASSE DE DANGER 6 : CANCÉROGÉNÉCITÉ</p>		<p>Les produits cancérogènes peuvent provoquer un cancer ou augmenter sa fréquence d'apparition.</p>
<p>CLASSE DE DANGER 7 : TOXICITÉ POUR LA REPRODUCTION</p>		<p>Les produits reprotoxiques peuvent produire ou augmenter la fréquence d'effets indésirables non héréditaires dans la progéniture ou porter atteinte aux fonctions et capacités reproductives.</p>

<p>CLASSE DE DANGER 8 : TOXICITÉ SPÉCIFIQUE POUR CERTAINS ORGANES CIBLES (EXPOSITION UNIQUE)</p>		<p>Les produits qui entrent dans cette classe ont la capacité de modifier le fonctionnement de certains organes comme le foie, les poumons ou le système nerveux après une seule exposition.</p>
<p>CLASSE DE DANGER 9 : TOXICITÉ SPÉCIFIQUE POUR CERTAINS ORGANES CIBLES (EXPOSITION RÉPÉTÉE)</p>		<p>Cette classe de produits a la capacité de modifier le fonctionnement de certains organes comme le foie, les poumons ou le système nerveux après plusieurs expositions.</p>
<p>CLASSE DE DANGER 10: DANGER PAR ASPIRATION</p>		<p>Cette classe désigne les produits qui peuvent entraîner des effets graves sur les poumons et qui peuvent être mortels s'ils pénètrent dans les voies respiratoires.</p>

3.1.2. Classification réglementaire de l'union européenne

L'évaluation du potentiel cancérigène, mutagène ou toxique de la reproduction de substances chimiques de l'espèce humaine prend en compte les données épidémiologiques et les résultats d'études expérimentales, qu'elles soient in vivo (recherches sur les organismes vivants, humains ou animaux) soit in vitro (expériences menées sur des cellules, tissus ou organes isolés). Les toxiques sont répartis en trois catégories (tableaux ci -dessous),

Tableau 1.2: Classification CMR des substances dangereuses

Catégories	Définitions
Substances cancérigènes	
Catégorie 1	substances que l'on sait être cancérigène pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à de telles substances et l'apparition d'un cancer.
Catégorie 2	substances devant être assimilées à des cancérigènes pour l'homme. On dispose d'assez d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut provoquer un cancer.
Catégorie 3	substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante (preuves insuffisantes).
Substances mutagènes	
Catégorie 1	substances que l'on sait être mutagène pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à de telles substances et des défauts génétiques héréditaires.
Catégorie 2	substances devant être assimilées à des mutagènes pour l'homme.
Catégorie 3	substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes possibles.

Substances toxiques pour la reproduction	
Catégorie 1	substances connues pour altérer la fertilité dans l'espèce humaine. Substances connues pour provoquer des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine.
Catégorie 2	substances devant être assimilées à des substances altérant la fertilité dans l'espèce humaine. Substances devant être assimilées à des substances causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine.
Catégorie 3	substances préoccupantes pour la fertilité dans l'espèce humaine. Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets toxiques possibles sur le développement.

Tableau 1.3: Les symboles et phrases de risque des substances CMR

Classement	Symbole	Phrases de risques
Cancérogène catégorie 1	T (Toxique)	R 45 ou R49
Cancérogène catégorie 2	T (Toxique)	R 45 ou R49
Cancérogène catégorie 3	Xn (Nocif)	R 40
Mutagène catégorie 1	T (Toxique)	R 46
Mutagène catégorie 2	T (Toxique)	R 46
Mutagène catégorie 3	Xn (Nocif)	R 68
Toxique pour la reproduction catégorie 1	T (Toxique)	R 60 et/ou R61
Toxique pour la reproduction catégorie 2	T (Toxique)	R 60 et/ou R61
Toxique pour la reproduction catégorie 3	Xn (Nocif)	R 62 et/ou R63

3.1.3. Classification du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC).

Cette classification est un autre système de classement des substances cancérigènes, établie par le CIRC sous la tutelle de l'organisation mondiale de la santé (OMS). Les évaluations globales de la cancérigénicité pour l'homme que le CIRC propose n'ont pas de valeur réglementaire. Elles sont établies par des commissions d'experts internationaux. Elles portent sur des agents, des mélanges ou des circonstances d'exposition. (Dumas, 2004).

Tableau 1.4: Classification CIRC des substances dangereuses

Catégories	Définition
Groupe 1	l'agent ou le mélange est cancérigène pour l'homme.
Groupe 2 A	l'agent ou le mélange est probablement cancérigène pour l'homme.
Groupe 2 B	l'agent ou le mélange est un cancérigène possible pour l'homme.
Groupe 3	l'agent ou le mélange ne peut être classé du point de vue de sa cancérigénicité pour l'homme.
Groupe 4	l'agent ou le mélange est probablement non cancérigène pour l'homme.

4. Caractérisation des expositions :

Une substance toxique en contact avec l'organisme représente un risque potentiel. Ce risque deviendra réel si la substance, du fait de sa dispersion, imprègne l'organisme par une ou plusieurs voies de pénétration.

Selon que l'on distingue la rapidité d'apparition des symptômes, leur sévérité, leur durée ou la rapidité d'absorption de la substance toxique, nous avons affaire à des intoxications suraiguës, aiguës, subaiguës, subchroniques ou chroniques.

Selon (Lauwerys, 2007) ; Lors d'études de la toxicité d'une substance chimique, d'un point de vue opérationnel :

- **Toxicité suraiguë** : l'intoxication suraiguë correspond à une exposition de très courte durée. L'absorption est toujours très rapide, la dose toujours unique et la mort survient rapidement.
- **Toxicité aiguë** : est une forme de toxicité qui résulte d'une exposition de courte durée suite à une absorption rapide du toxique par dose unique ou multiple ne dépassant pas 24 heures. Les manifestations cliniques se développent rapidement en général, la mort ou la guérison survient sans retard. (Bensakhria, 2018).
- **Toxicité subaiguë** : toxicité réitérée pendant au maximum 28 jours. L'intoxication subaiguë correspond à des expositions fréquentes et répétées sur une période de plusieurs jours ou semaines pour que les symptômes d'intoxication apparaissent.
- **Toxicité subchronique** : toxicité réitérée pendant plus de 28 jours et moins de 90 jours.
- **Toxicité chronique** : toxicité réitérée pendant plus de 90 jours. Dans le cas d'une intoxication chronique, les expositions sont répétées sur de longues périodes, la manifestation de l'intoxication dépend soit du poison qui s'accumule, soit des effets engendrés qui s'additionnent.
- **Toxicité de bioaccumulation** : Lorsque les toxiques sont entrés dans les organismes, par adsorption ou incorporation, ils vont avoir tendance à se bioaccumuler, et au fil du temps, les concentrations de ces substances présentes dans l'organisme deviennent plus élevées que dans son environnement immédiat. (Amiard, 2011).

5. Les mécanismes de la toxicité :

La toxicologie mécanistique est l'étude du mécanisme par lequel les agents chimiques ou physiques réagissent avec les organismes vivants pour provoquer une réaction toxique. La connaissance du mécanisme toxique d'une substance améliore les possibilités de prévention et permet de concevoir des produits chimiques mieux tolérés. (G.Watanabe).

Comprendre les mécanismes d'action permet de prévoir les effets toxiques des produits chimiques en question, de choisir le type d'équipement de protection adapté aux besoins en se fondant sur les propriétés physico-chimique d'une substance ou d'un mélange et aide le législateur institutionnel à établir des limites de sécurité légales pour l'exposition humaine (G.Watanabe).

Lorsqu'on fait une étude mécanistique, on commence par étudier l'exposition à une substance, la distribution puis son devenir dans l'organisme (pharmacocinétique) en fonction du temps, avant de mettre en évidence l'effet toxique qui en résulte au niveau d'un système et en fonction de la dose. Les diverses substances peuvent entraîner des effets toxiques à

différents niveaux du système biologique. Dans les études mécanistiques, la voie d'exposition est généralement la même que lors de l'exposition humaine. Cette voie est importante car, en dehors des effets systémiques, on peut observer des effets locaux au niveau du site d'exposition (Huff & M) .

Les mécanismes d'action de toxiques sont souvent décrits en fonction de la nature chimique de leurs cibles car un toxique n'affecte pas tous les organes avec la même intensité. Ils agissent plus spécifiquement sur certains organes (Viala, 2007) Ce qui nous mènes à étudier les mécanismes de toxicité sur les 3 principaux systèmes (pulmonaire, cutané et oculaire).

5.1. Mécanismes de l'action des toxiques au niveau pulmonaire

Les voies respiratoires, sont des conduits qui permettent le passage de l'air entre l'extérieur du corps et les poumons, depuis le nez et la bouche jusqu'aux alvéoles pulmonaires. On distingue les voies respiratoires supérieures allant du nez au larynx, et les voies inférieures, allant de la trachée aux alvéoles. (Andréjak, 2015).

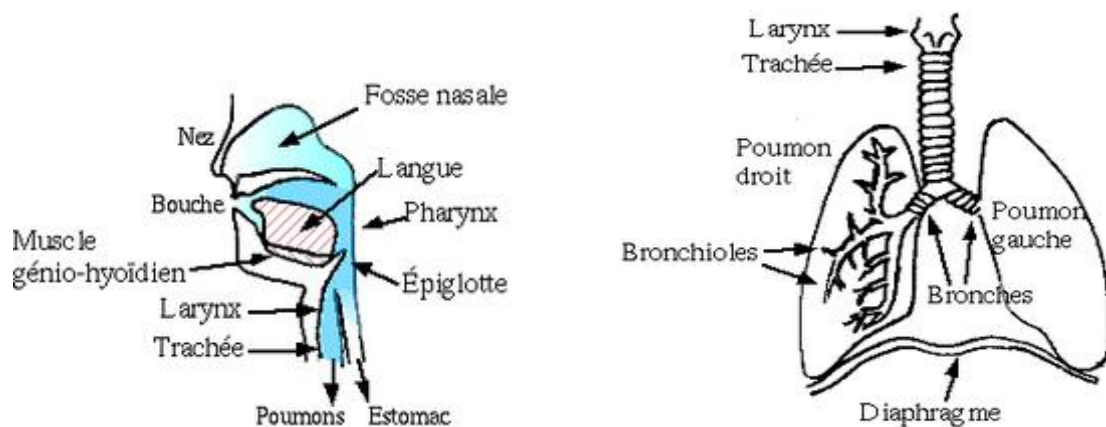


Figure 1.1 : Schéma des voies pulmonaires supérieures et inférieures

La voie pulmonaire est une voie fréquemment impliquée pour l'entrée des toxiques, d'autant plus que les poumons ont une surface alvéolaire importante, qu'ils jouissent d'un débit sanguin élevé et que les échanges entre l'air alvéolaire et le sang sont intenses. (Lacarelle, 2007)

La pénétration des gaz est déterminée par la solubilité, le débit sanguin, le gradient de pression partielle du gaz entre les alvéoles et le sang veineux ainsi que la ventilation pulmonaire ; Les gaz très solubles, comme le dioxyde de soufre (SO₂), ne pénètrent pas plus loin que le nez en règle générale, ce qui diminue notablement leur toxicité. Les gaz

relativement insolubles, tels que l'ozone (O₃), pénètrent jusque dans les alvéoles pulmonaires ou ils peuvent entraîner une réponse toxique. Les gaz très solubles comme l'hydrogène sulfuré (H₂S), traverse facilement le tractus respiratoire pour se retrouver dans le sang pulmonaire et être distribué dans tout l'organisme. Pour les vapeurs liposolubles peuvent ainsi être absorbées à différents niveaux de l'appareil respiratoire, puis transportées par le sang circulant dans diverses régions du corps, notamment dans le système nerveux central, où se manifesteront leurs effets. (Lacarelle, 2007)

Gaz hydrosoluble	Gaz liposoluble
<p>Les liquides recouvrant les voies respiratoires sont majoritairement aqueux</p> <p>Les gaz hydrosolubles vont être arrêtés</p> <p>Expression d'une toxicité locale</p>	<p>Les gaz liposolubles vont être arrêtés plus bas, au niveau des bronches et des bronchioles</p> <p>Pathologies plus profondes avec parfois une action toxique contre les macrophages</p>

Tableau 1.5: Pénétration des gazs selon la solubilité

Dans le cas des particules, outre la solubilité, le débit sanguin, le gradient de pression partielle du gaz entre les alvéoles et le sang veineux et la ventilation pulmonaire, il faut prendre en compte leurs propriétés physiques : diamètre ; densité ; charge ; forme. (Canorel, 2010).

Les particules et les aérosols se déposent dans différentes régions du tractus respiratoire en fonction de leur taille. Les grosses particules, de diamètre supérieur à 10µm, ont généralement arrêtées au niveau du nasopharynx. Celle dont le diamètre est compris entre 3 et 10 µm atteignent le tractus intermédiaire (trachée bronches, bronchioles) et peuvent être en grande partie remontées jusqu'à la bouche par le tapis mucociliaire. Celles dont le diamètre est inférieur à 3 µm vont aller jusqu'aux alvéoles, où elles peuvent être phagocytées par les macrophages, ou au contraire tuer les macrophages et s'accumuler dans le tissu pulmonaire. Dans ce cas, elles peuvent être responsables surtout dans un milieu professionnel, de lésion fibrosantes et d'effets cancérogènes. (Viala, 2007).

L'intoxication par voie respiratoire est grave dans la mesure où la ventilation est un phénomène obligatoire et qu'on observe une diffusion rapide des xénobiotiques dans l'organisme.

Tableau 1.6: Pénétration des particules dans la voie pulmonaire

Diamètre	Pénétration	Localisation	Effets
> 30µm	Rare	/	Locaux
3 à 10µm	Par sédimentation	Arbre trachéo-bronchique (où la vitesse de l'air est très faible)	/
< 3µm	Par diffusion	Dans les alvéoles (ou la vitesse de l'air est nulle)	Pneumoconiose si présence de poussières dans les voies respiratoires inférieures et les alvéoles

5.2. Mécanismes d'action des toxiques au niveau de la peau :

La peau, qui a une surface de 2m² chez l'adulte, elle comprend un épiderme et un derme recouvrant l'hypoderme où se trouvent les follicules pileux, des éléments nerveux et un réseau de capillaires etc.

Le derme est constitué de collagène et d'élastine, avec des macrophages et des fibroblastes, alors au niveau de l'épiderme se situent une couche cornée superficielle, qui s'élimine progressivement et une couche granuleuse qui peut se kératiniser. (Viala, 2007).

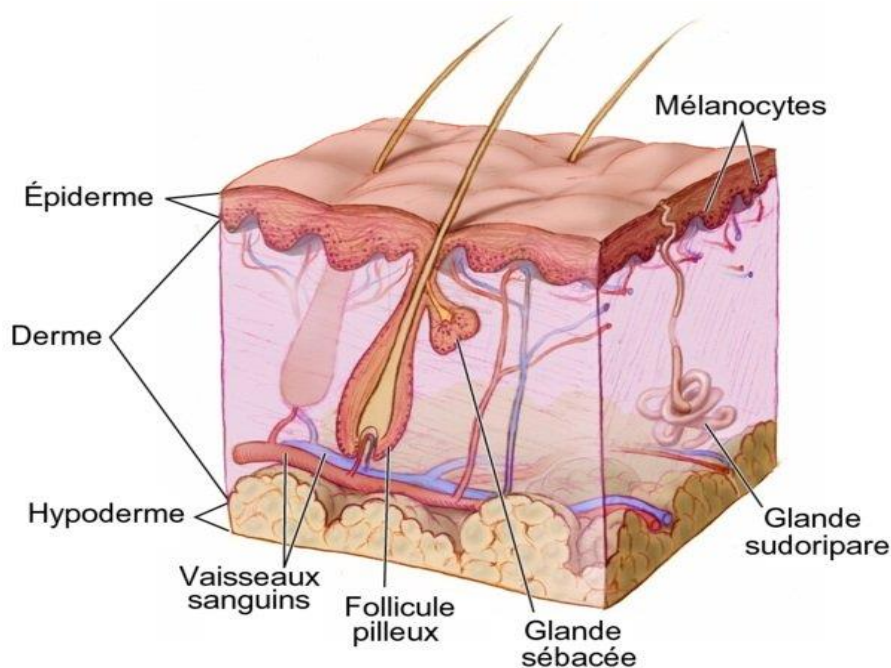


Figure 1.2: Schéma présentant les couches de la peau

La peau est une bonne barrière physiologique, assez imperméable, mais elle est soumise à des nombreuses agressions. Certains toxiques, arrivant au contact de la peau, déterminant des effets locaux allant de la simple irritation à la cancérisation. La résorption de toxique comme les gaz de combat, est suffisante pour entraîner des effets systémiques, parce que l'absorption au niveau de l'hypoderme est rapide mais peu importante. L'épiderme est la première barrière rencontrée par les toxiques ; des petites quantités des substances polaires peuvent la traverser ; les substances non-polaires y diffusent grâce à leur liposolubilité. (Lacarelle, 2007)

Certains facteurs modifient la perméabilité de la peau :

- humidité et sueur ; dermatoses ; lésions de la couche cornée.

5.3. Mécanismes d'action des toxiques au niveau oculaire :

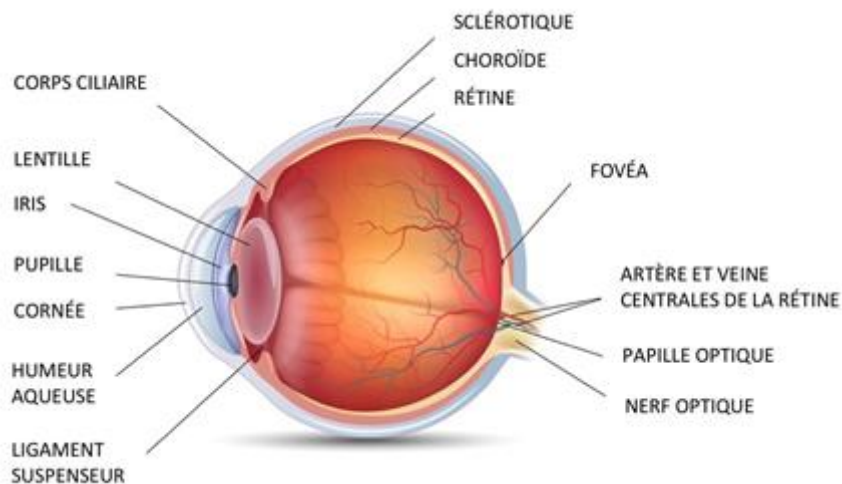


Figure 1.3: Schéma de l'œil

L'œil est un organe complexe, destiné à la réception des influx visuels qui possède une forme sphérique. Il comprend deux parties : le bulbe de l'œil (ou le globe oculaire) et le nerf optique qui relie la partie postérieure du globe oculaire au cerveau (Le figaro). La cornée est recouverte d'une mince conjonctive. L'iris se situe devant le cristallin où il abrite la pupille. L'humeur aqueuse remplit l'espace entre le cristallin et la cornée. L'œil est lubrifié par la sécrétion lacrymale.

L'œil peut subir des projections de toxiques ou être soumis à d'autres agressions particulièrement irritantes en endommageant plus ou moins profondément la cornée. Le canal lacrymal peut être obstrué par divers comportements, y compris un comportement corrosif.

6. Cheminement des toxiques dans l'organisme

Un produit qui pénètre dans l'organisme peut avoir des effets bénéfiques (médicaments) ou néfastes (toxiques). Inversement, l'organisme peut agir sur ce produit : c'est ce qu'on appelle le métabolisme.

La réponse de l'organisme à un toxique dépend, entre autres, de la quantité du produit présent dans un tissu ou un organe.

La **toxicocinétique** s'intéresse à l'influence qu'exerce l'organisme sur un toxique. Cette influence découle des processus (l'absorption, la distribution, le métabolisme, l'élimination) qui gouvernent le cheminement du toxique dans l'organisme.

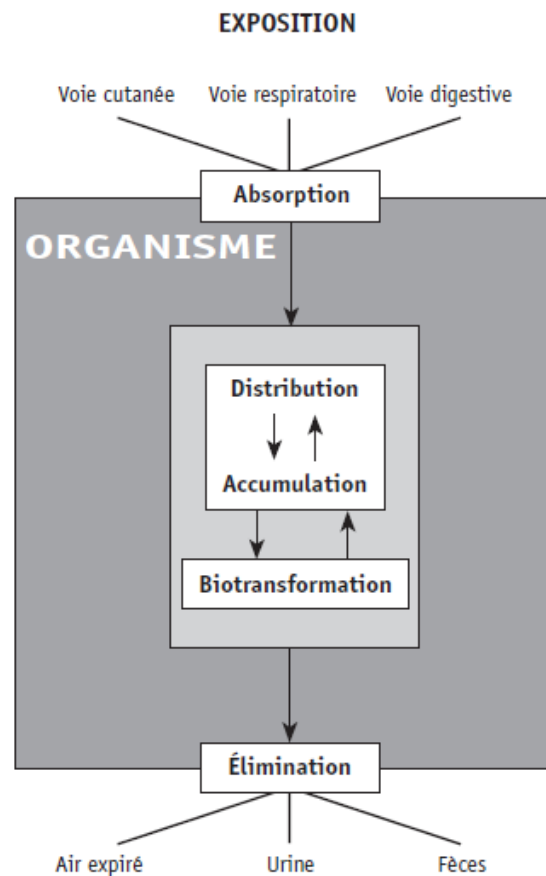


Figure 1.4: Schéma générale du cheminement des toxiques dans le corps

6.1. L'entrée (ou l'absorption)

L'absorption est le processus par lequel le produit pénètre dans le corps. C'est une étape importante, car tant qu'il ne pénètre pas dans le sang, le produit ne provoquera pas de toxicité systémique, c'est-à-dire loin du point de contact initial.

De nombreux facteurs affectent le processus d'absorption du produit : sa nature, sa solubilité, la perméabilité du tissu biologique au point de contact, la durée et la fréquence de contact, etc.

6.2. Distribution des xénobiotiques

Elle concerne le passage des xénobiotiques de la circulation générale vers les tissus et organes, où des effets toxiques peuvent se développer et une accumulation se produit.

La distribution des xénobiotiques fait intervenir essentiellement les mécanismes de, La diffusion passive et de transport actif. Elle est sous la dépendance :

- ✓ de la liaison du toxique aux protéines plasmatiques ;
- ✓ de l'affinité du toxique pour les protéines tissulaires ;
- ✓ du débit sanguin de l'organe concerné ;
- ✓ des « barrières » que l'organisme met en œuvre pour se protéger.

6.3. Métabolisme des xénobiotiques

Il est rare qu'un produit chimique ne soit pas modifié, ne serait-ce que partiellement, au cours de son passage dans l'organisme. Celui-ci le considère, en effet, comme une substance étrangère et cherche à s'en débarrasser. Pour cela sont mis en jeu des processus biochimiques, qui aboutissent généralement à la formation de produits plus polaires (plus hydrophiles) que la substance initiale (c'est-à-dire pour lesquels le coefficient de partage eau/solvant organique est déplacé en faveur de l'eau), plus hydrosolubles et par conséquent plus facilement éliminables par le rein, car ils peuvent alors filtrer à travers les glomérules en évitant la réabsorption tubulaire. Ces produits de biotransformation sont aussi appelés métabolites. Plusieurs réactions peuvent affecter un même produit. (Viala, 2007)

Les enzymes responsables de ces réactions se trouvent principalement dans le foie, mais aussi dans les poumons, l'estomac, l'intestin, la peau, les reins. Le foie est l'organe de passage obligatoire après résorption intestinale. Des pathologies affectant le foie, les états de choc, l'insuffisance cardiaque, etc. peuvent diminuer le métabolisme hépatique. (Lacarelle, 2007)

En règle générale, les biotransformations sont des processus de détoxification. Dans certains cas, cependant, elles aboutissent à des métabolites plus toxiques que la molécule-mère ; il y a alors toxification (bioactivation).

Deux types de réactions sont impliquées dans les biotransformations : — des réactions de dégradation (ou fonctionnalisation), de phase I : oxydation, réduction, hydrolyse ; — des réactions de conjugaison, de phase II (au cours de laquelle le xénobiotique ou in métabolite de phase I se conjugue à une substance endogène). (Viala, 2007)

6.4. Elimination des xénobiotiques (l'excrétion)

Ce processus consiste à rejeter le produit inchangé ou ses métabolites à l'extérieur de l'organisme.

L'**excrétion** peut se faire par voie rénale (l'urine), gastro-intestinale (les selles), pulmonaire (l'air expiré), cutanée (la sueur) ou lactée (le lait).

Par exemple, le sang transporte de nombreux produits vers les reins, dont plusieurs déchets provenant du métabolisme. Les reins filtrent le sang, remplissant ainsi une fonction essentielle au maintien de l'équilibre des éléments sanguins, et assurent l'élimination de nombreux produits. (Lapointe, 2004)

CHAPITRE II

Evaluation de l'effet toxique

Chapitre2 : Evaluation de l'effet toxique

L'organisme humain est en relation avec son milieu par un ensemble d'échanges qui contribuent à maintenir un équilibre dynamique. Par exemple, la respiration permet d'absorber l'oxygène de l'air et d'y rejeter du dioxyde de carbone. Quoi que nous fassions, le milieu nous influence et nous l'influénçons. Ce principe d'action-réaction signifie que toute action a des conséquences. Le milieu ne constitue cependant pas un tout homogène, mais plutôt un ensemble composé de nombreux éléments, comprenant les produits toxiques qui peuvent affecter la santé des organismes vivants.

Chaque année, l'industrie met des centaines de nouveaux produits sur le marché, venant ainsi accroître le nombre de ceux qu'on peut déjà utiliser. Il est important de connaître l'innocuité (qualité de ce qui n'est pas nuisible) ou la nocivité (caractère de ce qui est nuisible) des produits toxiques pour bien en saisir les effets sur notre santé. Cela nécessite cependant une certaine connaissance des notions et principes propres à la toxicologie, que nous présenterons dans les prochaines sections.

1. L'effet toxique

L'effet toxique est le résultat d'un processus souvent complexe et il peut entraîner une série de réactions physiologiques et métaboliques.

Lorsqu'un individu absorbe des produits chimiques, divers effets biologiques peuvent se produire et se révéler bénéfiques (ex. : l'amélioration de la santé après l'administration d'un médicament) ou néfastes (ex. : une atteinte pulmonaire suivant l'inhalation d'un gaz corrosif). La notion d'effet toxique suppose des conséquences nocives pour l'organisme. (Gilles Lapointe, 2004)

Le fait d'inhaler, de toucher et même d'ingérer des substances chimiques n'entraîne pas nécessairement un effet toxique. Par exemple, le dioxyde de carbone (CO₂) est un métabolite du corps humain expiré par les poumons qui se trouve également dans l'environnement. Il cause l'asphyxie s'il est présent en quantité suffisante dans un espace clos ou mal ventilé. Paradoxalement, l'absorption d'une substance en faible quantité peut s'avérer très toxique et provoquer des lésions graves, tandis que l'absorption en grande quantité d'une autre substance

peu toxique peut produire un effet bénin. L'effet toxique est ainsi lié à la notion de toxicité. (Gilles Lapointe, 2004)

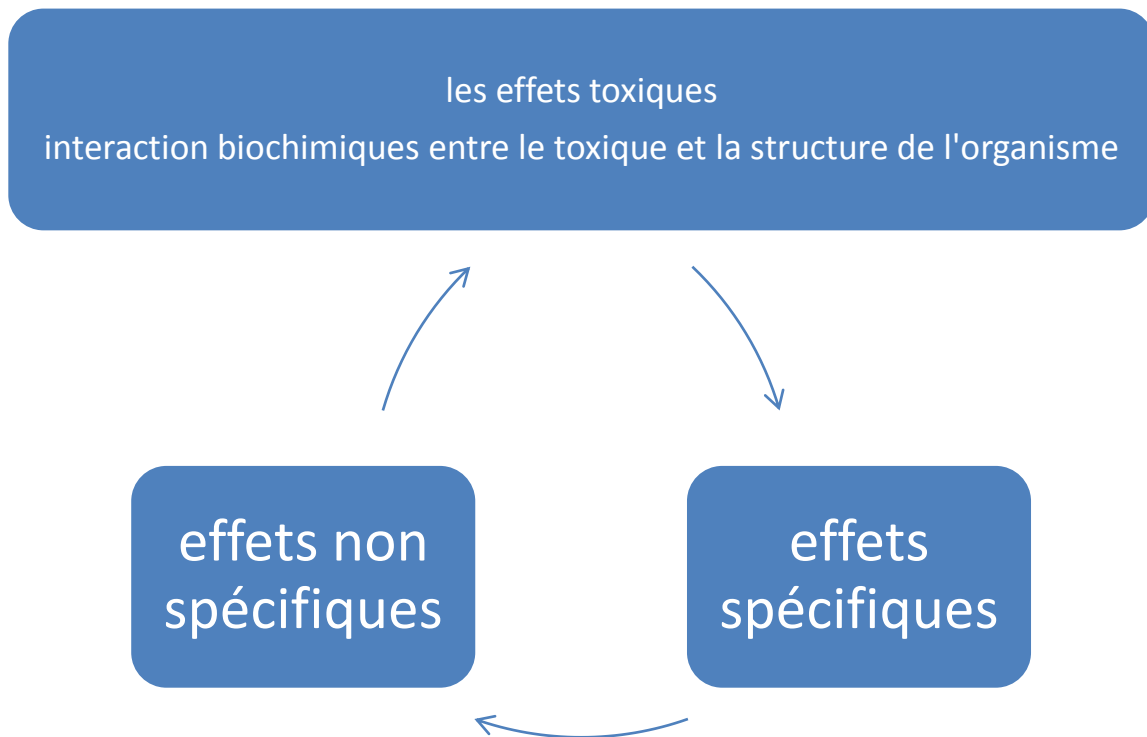


Figure 2.1: Relation des effets et l'interaction

2. Les facteurs qui peuvent influencer les effets toxiques

2.1.La toxicité :

Les toxiques ne présentent pas tous le même degré de toxicité. Certains ont une faible toxicité, même si on les absorbe en grande quantité, par exemple le sel de table, tandis que d'autres ont une forte toxicité, même si on en absorbe de faibles quantités, notamment les dioxines. On peut en partie expliquer de telles variations par les différences qui existent entre la structure chimique des substances. Ces différences peuvent affecter la capacité des substances à perturber le fonctionnement de l'organisme (Gilles Lapointe, 2004).

De plus, les caractéristiques physico-chimiques, par exemple la grosseur des poussières, la volatilité et la solubilité dans l'eau, interviennent également dans la réponse toxique. Ainsi, la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des toxiques proprement dits se révèle importante pour en évaluer la toxicité.

2.2.L'individu :

La population humaine est un groupe hétérogène au sein duquel il existe une grande variabilité entre les individus. Ceux-ci peuvent être affectés différemment par une même dose toxique, et une personne peut y réagir différemment selon le moment (relation dose-réponse). (Gilles Lapointe, 2004)

Deux principales catégories de facteurs contribuent à expliquer la nature et l'intensité des effets toxiques.

a. **Facteurs génétiques** : Des différences génétiques peuvent intervenir dans la capacité des individus à transformer des toxiques.

b. **Facteurs physiopathologiques** :

- L'âge : La sensibilité aux effets toxiques est habituellement plus grande chez les enfants et les personnes âgées.
- Le sexe : Il existe des différences entre les hommes et les femmes, notamment en ce qui concerne le métabolisme des toxiques.
- L'état nutritionnel : La toxicité peut être influencée par la masse de tissus adipeux, la déshydratation, etc.
- L'état de santé : Les individus en bonne santé sont plus résistants, car ils métabolisent et éliminent les toxiques plus facilement que ceux qui souffrent de maladies hépatiques ou rénales.
- La grossesse : Il se produit des modifications de l'activité métabolique des toxiques au cours de la grossesse.

Nos connaissances sur l'interaction de tous ces facteurs et de nombreux autres aspects demeurent incomplètes. En effet, il est souvent difficile, sinon impossible, d'évaluer la sensibilité d'un individu ou d'une population et de prédire quelle sera la réponse biologique d'un organisme à une exposition à un toxique. (Gilles Lapointe, 2004)

2.3.L'environnement :

Certains facteurs environnementaux, notamment des éléments extérieurs à l'individu, peuvent influencer sur la toxicité. En particulier, la lumière et la température peuvent modifier les effets des poisons. Un exemple est une réaction photoallergique, où la peau exposée à l'éthylène diamine devient plus sensible à la lumière.

En milieu de travail, l'exposition aux mélanges chimiques est une réalité et l'une des questions les plus importantes à considérer. Les mélanges sont généralement complexes et peuvent être constitués de composés similaires, de produits de transformation, de produits de réaction ou de résidus (déchets). L'exposition simultanée ou séquentielle à plusieurs produits peut avoir des conséquences inattendues, qui peuvent être différentes de la somme des réactions provoquées par chaque composant du mélange. C'est ce que l'on appelle une **interaction toxicologique**. Les interactions toxicologiques peuvent être néfastes (augmentation de la toxicité d'un autre produit) mais aussi, dans certaines situations, avantageuses (réduction des effets toxiques d'un autre produit). Par exemple, l'ingestion d'alcool éthylique augmente les effets toxiques du trichloréthylène ; en revanche, administrer de l'alcool éthylique en cas d'intoxication permet de diminuer la toxicité de l'alcool méthylique.

Il existe différents termes pour décrire les interactions toxicologiques : addition, synergie, potentialisation ou antagonisme.

- ✓ Addition (additivité) : la réponse est égale à la somme des réponses des substances prises individuellement, il n'y a pas d'interaction.
- ✓ Synergie : la réponse est supérieure à la somme des réponses des substances prises individuellement.
- ✓ Potentialisation : elle se produit lorsqu'une substance ayant peu ou pas de toxicité augmente la réponse d'une autre substance.
- ✓ Antagonisme : la réponse est inférieure à la somme des réponses des substances prises individuellement. (Gilles Lapointe, 2004)

3. Principaux types de toxiques selon leur réactivité

3.1. Classification des effets toxiques

Les effets toxiques peuvent être classés de diverses façons, selon, par exemple :

- ✓ la durée : aiguë, chronique ;
- ✓ le type d'action : locale, systémique ;
- ✓ le mécanisme d'action : stimulant, inhibiteur ;
- ✓ la voie de pénétration : respiratoire, cutanée, digestive ;
- ✓ le tissu ou l'organe affecté : sang (hématotoxique), foie (hépatotoxique), rein (néphrotoxique), le système nerveux (neurotoxique) ;
- ✓ la nature de l'effet : irritant, sensibilisant, asphyxiant, cancérogène ;
- ✓ l'utilisation : pesticides, savons, solvants ;
- ✓ l'étiquetage : matière corrosive ;
- ✓ la famille chimique : hydrocarbures aromatiques, alcools.

La classification des toxiques est donc abordée de plusieurs points de vue. Elle dépend souvent du domaine d'application, de l'objectif poursuivi par un organisme ou même du champ d'activité d'un individu. Le tableau 2.1 présente quelques exemples de classification utilisant des critères présentés plus haut.

Tableau 2.1: Classification des produits chimiques

Nature de l'effet	Tissu, organe ou système biologique affecté
Asphyxie : <ul style="list-style-type: none">• acétylène• monoxyde de carbone	Rein : <ul style="list-style-type: none">• diéthylène glycol• mercure
Cancer : <ul style="list-style-type: none">• benzène• chlorure de vinyle	Sang : <ul style="list-style-type: none">• aniline• benzène
Corrosion : <ul style="list-style-type: none">• acide sulfurique	Système nerveux : <ul style="list-style-type: none">• toluène

<ul style="list-style-type: none"> • hydroxyde de sodium 	<ul style="list-style-type: none"> • xylène
Utilisation du produit	Famille chimique du produit
Colorant : <ul style="list-style-type: none"> • bleu de méthylène • vert malachite 	Acides : <ul style="list-style-type: none"> • acide acétique • acide sulfurique
Pesticide : <ul style="list-style-type: none"> • Aldrine • 2,4-D 	Hydrocarbures aliphatiques : <ul style="list-style-type: none"> • éthane • propane
Solvant : <ul style="list-style-type: none"> • diéthylène glycol • xylène 	Hydrocarbures aromatiques : <ul style="list-style-type: none"> • benzène • xylène

(LAICHE.R, 2019)

3.2.Types d'actions :

a) Actions locales et actions systémiques :

Certaines substances exercent des effets immédiats au point de contact avec l'organisme ; action de caustiques au niveau des voies digestives ou de la peau, action des produits irritants au niveau des voies respiratoires etc.

Les effets systémiques sur un ou plusieurs organes, apparaissent après l'absorption du toxique et sa distribution dans l'organisme: action a des sites éloignés du point d'introduction.

b) Actions réversibles et actions irréversibles :

Les effets sont dits réversibles lorsqu'ils disparaissent après cessation de l'exposition a la substance toxique .ils sont dit irréversibles lorsqu'ils persistent ou même s'intensifient après arrêt de l'exposition. Les cancers les mutations les cirrhoses hépatiques etc. Sont à l'évidence irréversible.

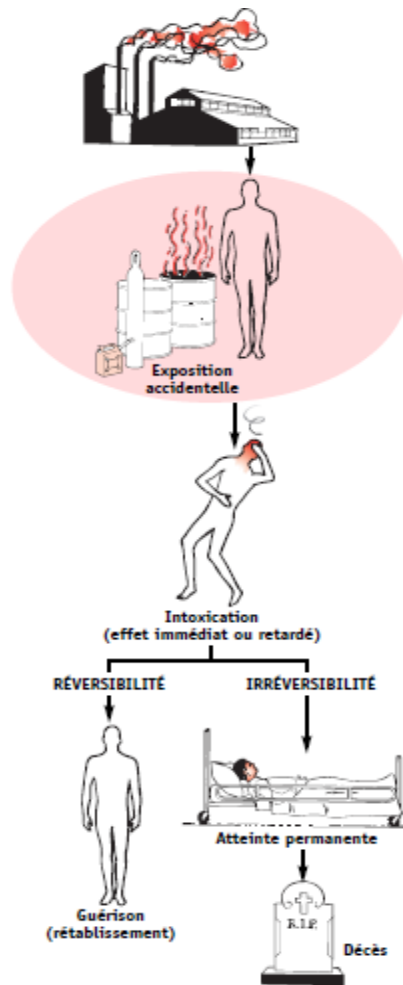


Figure 2.2: La réversibilité et l'irréversibilité d'une atteinte résultant d'une intoxication (BRAHIMI, 2011)

c) Actions immédiats et actions retardées :

Les effets immédiats apparaissent rapidement après une exposition unique à un toxique : action des caustiques etc. D'autres, les effets retardés n'apparaissent qu'après un temps de latence plus ou moins long : cas des cancérogènes qui, souvent ne manifestent leurs effets qu'au bout de plusieurs années.

d) Actions morphologiques, fonctionnels, biochimiques :

On entend par effets morphologiques ceux qui aboutissent à un changement de la morphologie d'un tissu visible en microscopie optique ou électronique (nécroses, néoplasies, etc.) ; ils sont en général irréversibles.

Les effets fonctionnels déterminent un changement dans les fonctions d'un organe (foie, rein, etc.) ; ils sont les plus souvent réversibles.

L'appellation «effet biochimique» est réservée aux effets ne produisant pas de changements morphologiques apparents, par exemple l'inhibition de systèmes enzymatiques (inhibition des cholinestérases par les insecticides organophosphorés, de l'acide aminolévulinique déshydratase par le plomb, etc.). (F.Ramade, 2007)

e) Réactions allergiques et réactions idiosyncrasiques :

Les réactions d'allergie ou de hypersensibilité à une substance (intolérance acquise) résultent le plus souvent d'une sensibilisation préalable à cette substance ou à un produit apparenté. Le toxique, le plus souvent d'un poids moléculaire inférieur à 500, n'est pas directement immunogénique. Il va agir comme un haptène (antigène incomplet) et se lier d'une manière covalente avec une protéine porteuse endogène pour former un antigène, lequel déterminera à son tour la production d'un anticorps. Une exposition ultérieure au toxique provoquera une réaction antigène-anticorps, à l'origine de phénomènes typiques d'allergie. (F.Ramade, 2007)

Les réactions idiosyncrasiques (intolérance naturelle) résultent d'une sensibilité anormale, d'origine génétique, à un toxique : par exemple les personnes ayant un déficit en méthémoglobine-réductase présentent une sensibilité anormale aux agents méthémoglobinisants (la méthémoglobine est une hémoglobine à fer ferrique non fonctionnelle) (F.Ramade, 2007)

4. Différents types d'effets toxiques ;

4.1.Fonctionnels et Lésionnels

Les effets causés par un toxique peuvent se traduire en changements fonctionnels ou lésionnels (morphologie). Les premiers touchent l'atteinte transitoire d'une fonction de l'organisme ou d'un organe (ex. : une modification de la fréquence respiratoire lors de l'exposition à un asphyxiant simple) sans créer de lésions et ils sont généralement réversibles. Les seconds causent une lésion à un ou à plusieurs tissus ou organes (ex. : fibrose pulmonaire causée par l'exposition chronique à la silice cristalline) sans que le sujet présente des signes cliniques et sont souvent irréversibles. Enfin, des altérations biochimiques peuvent également se produire sans être accompagnées de changements morphologiques apparents (ex. : l'inhibition des cholinestérases causée par les insecticides organophosphorés).

4.2.Effet mutagène

Une mutation est un changement qui se produit dans le matériel génétique de la cellule, c'est-à-dire l'ADN (acide désoxyribonucléique). L'ADN se trouve à l'intérieur du noyau de la cellule et constitue le support matériel de l'hérédité. Son rôle est essentiel pour la transmission de l'information génétique d'une cellule à la génération suivante. Les conséquences des modifications dépendront du type de cellules modifiées. Il existe deux types de cellules susceptibles d'être affectées : la cellule somatique et la cellule germinale.

Les cellules somatiques comprennent toutes les cellules du corps (ex. : cellules hépatiques, neurones), sauf les cellules germinales (les spermatozoïdes et les ovules).

L'effet mutagène est un agent mutagène est celui qui va induire une mutation ; Si la mutation se produit dans une cellule somatique, il pourra en résulter la mort de la cellule, un cancer ou d'autres effets néfastes. Si la mutation se produit dans une cellule germinale, elle pourra avoir des conséquences sur la descendance. Toutefois, si une cellule est transformée par un mutagène, il n'en résultera pas nécessairement une conséquence néfaste, car tous les mutagènes ne causent pas nécessairement d'effet biologique décelable. De plus, l'organisme peut réparer une partie plus ou moins importante des altérations. Il existe des tests permettant de repérer les produits ayant un potentiel mutagène (ex. : aberration chromosomique, dominance létale). Les résultats de ces tests facilitent l'identification et la classification des agents mutagènes de nature chimique (ex.: acrylamide, cyclophosphamide) ou physique (ex. : radiations ionisantes).

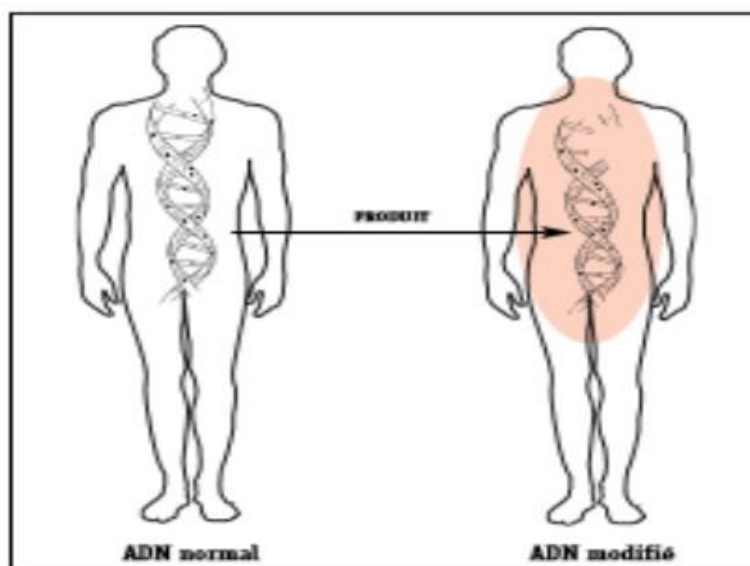


Figure 2.3: Effet mutagène

4.3.Effet immunologiques

L'organisme humain possède divers systèmes de défense qui lui permettent de reconnaître les substances favorables à son bon fonctionnement. Lorsque l'organisme répond d'une façon excessive ou exagérée à des produits toxiques étrangers qui ne provoquent habituellement pas de réaction immunologique, on parle d'allergie.

L'allergie est une réaction indésirable de l'organisme à des agents chimiques, physiques ou biologiques généralement inoffensifs pour la plupart des gens. La réaction allergique survient lorsque le système immunitaire de l'individu reconnaît par méprise une substance comme étrangère, appelée alors allergène. L'organisme la reconnaît et fabrique des substances pour la neutraliser et l'éliminer, ce sont des anticorps. Le système de défense peut toutefois se dérégler et en venir à fabriquer des anticorps contre des substances inoffensives.

Pour qu'il y ait allergie, il faut :

- ✓ un contact entre l'allergène et l'organisme ;
- ✓ une faculté particulière à se sensibiliser, qui peut être héréditaire ou qui peut se développer par suite de l'action de nombreux facteurs.

Le contact de la substance avec l'organisme déclenche un mécanisme qu'on appelle sensibilisation. Le terme sensibilisant qualifie les agents susceptibles de causer une telle réaction. L'exposition qui provoque la sensibilisation ne correspond pas nécessairement à la première exposition, car un individu peut être exposé pendant une longue période à un allergène avant que la sensibilisation ne se manifeste. On ne naît pas allergique. On le devient par un contact prolongé ou répété avec une substance.

Les allergènes peuvent emprunter plusieurs voies : la voie aérienne, la voie cutanée, l'ingestion et l'injection. Les deux premières sont les plus fréquentes en milieu de travail et créent également beaucoup de problèmes dans la vie courante :

- ✓ Les allergènes aériens (moisissures, poils d'animaux, pollen de l'herbe à poux) peuvent causer de l'écoulement nasal, des éternuements, de la congestion, du larmolement, du picotement et le gonflement des yeux. Si ces symptômes nous apparaissent surtout comme incommodants, n'oublions pas qu'ils peuvent s'aggraver et conduire à des complications médicales ; de plus, l'inhalation d'allergènes (tels que les isocyanates qu'on trouve dans certaines peintures) peut être dangereuse et causer de l'asthme.
- ✓ Les allergènes de contact peuvent causer des éruptions et des démangeaisons.

- ✓ Les allergènes injectés (morsures, piqûres d'insectes) peuvent causer des éruptions, de la fièvre, des nausées, des vomissements et des crampes d'estomac.
- ✓ Les allergènes ingérés (aliments et leurs constituants, tels que les œufs et les arachides) peuvent être la cause d'éruptions et d'une manifestation allergique violente (telle qu'un choc anaphylactique).

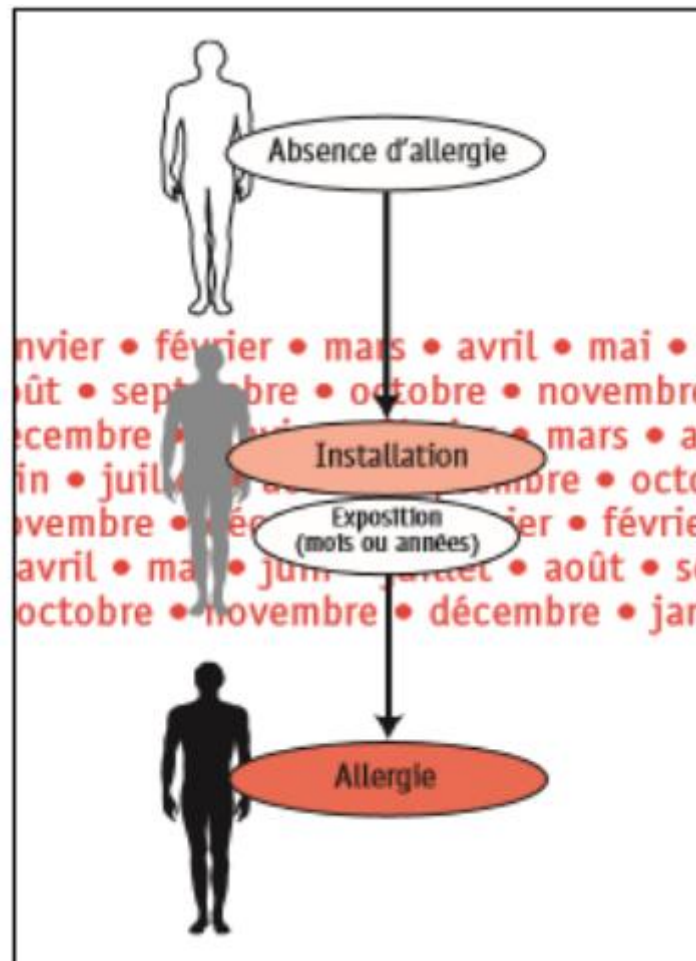


Figure 2.41: la sensibilisation

4.4.Effet Génotoxique :

Les effets des agents génotoxiques mènent à des lésions irréversibles du génome (mutations) qui ont pour conséquence essentielle une augmentation des anomalies héréditaires (mutagenèse germinale) et de la fréquence des cancers (cancérogenèse). L'objet de cet article est de synthétiser les concepts récents en matière de génotoxicité et d'en présenter les applications pour le praticien.

L'approche systématique de ces concepts comporte la définition des termes propres à la génotoxicité, une description des mécanismes de dommage génétique, de mutations et de leurs conséquences pour la santé, ainsi qu'une comparaison des méthodes de détection et

d'évaluation des substances génotoxiques. Les applications proposées au praticien concernent essentiellement les programmes de surveillance génotoxique et d'estimation du risque pour la population et/ou l'individu. Les aspects pratiques et éthiques sont également abordés. (BRAHIMI, 2011)

4.5.Effet cancérigène :

Il existe entre les cellules de l'organisme une interaction qui fait en sorte que chaque tissu a une taille et une organisation adaptée aux besoins de l'organisme. Dans certaines situations, des cellules ne répondent plus aux signaux des autres cellules et n'obéissent plus qu'à elles-mêmes. Ce sont les cellules cancéreuses. Le cancer est une maladie qui se caractérise par une croissance et une multiplication incontrôlée de cellules anormales dans un organe ou un tissu de l'organisme. En se multipliant, ces cellules anormales forment une masse appelée tumeur. Il existe deux types de tumeurs : la tumeur bénigne et la tumeur maligne. On appelle tumeur bénigne la tumeur qui n'envahit pas le tissu d'origine ou qui ne se propage pas dans d'autres organes. On appelle tumeur maligne celle qui peut envahir et détruire les tissus sains avoisinants ou se répandre dans le corps. C'est cette dernière que l'on qualifie de tumeur cancéreuse. Un agent qui cause le cancer est qualifié de cancérigène. Une tumeur maligne qui se répand (dissémination) forme ce que l'on appelle des métastases. La métastase est une cellule cancéreuse qui quitte le foyer de croissance initial et s'attaque aux tissus avoisinants, emprunte la circulation lymphatique pour atteindre les ganglions, passe dans le sang et colonise d'autres organes, formant ainsi des foyers secondaires. La transformation d'une cellule normale en cellule cancéreuse peut survenir à n'importe quel moment de la vie de la cellule. Cette transformation peut être la conséquence d'une agression par un cancérigène. Généralement, une telle transformation suppose une cascade d'événements biologiques dont l'ensemble du processus peut s'échelonner sur une longue période au cours de la vie d'une personne. Chaque type de cancer est différent et la progression d'un même cancer est différente d'une personne à l'autre.

Plusieurs causes sont reliées au cancer : l'alimentation, le tabac, l'exposition prolongée au soleil, certains virus et certains produits chimiques et toxiques. Parmi ces derniers, mentionnons : le benzène (cancer du sang), le chlorure de vinyle (cancer du foie) et la bêta-naphtylamine (cancer de la vessie). (BRAHIMI, 2011) .

4.6. Les effets sur la reproduction et le développement :

De nombreuses personnes s'interrogent sur la possibilité que des produits chimiques, présents dans leur milieu de travail, puissent avoir des répercussions sur leur capacité à concevoir et avoir des enfants en bonne santé. La toxicologie de la reproduction s'intéresse aux troubles de la reproduction, aux effets non héréditaires sur l'embryon et le fœtus, ainsi qu'à ceux pouvant affecter l'enfant de la naissance à la puberté. La gamme des effets observés peut être sommairement regroupée comme suit :

- ✓ les effets sur la fertilité ;
- ✓ les effets sur le développement (prénatal et post- natal);
- ✓ les effets durant la lactation.

Les effets toxiques peuvent affecter la fertilité, tant chez l'homme que chez la femme. Les atteintes de la libido, du comportement sexuel, de la spermatogenèse, du développement ovulaire (oogenèse) ou de la capacité de fécondation sont parmi les effets néfastes possibles qui peuvent se manifester (ex. : les anomalies spermatiques causées par l'exposition au dibromo-1,2 chloro-3 propane ou DBCP). La toxicité sur le développement peut apparaître à la suite d'une exposition, avant, pendant ou après la conception et peut prendre diverses formes. Les malformations congénitales représentent les effets qui sont les plus publicisés et qui apparaissent comme étant les plus dramatiques, et souvent les plus visibles. Cependant, il peut également y avoir d'autres atteintes in utero, telles que des retards de développement et des troubles fonctionnels de l'embryon et du fœtus. Ils peuvent alors être regroupés sous les termes d'embryotoxique ou fœtotoxique et d'effet postnatal en fonction du stade de développement (embryon ou fœtus) selon qu'ils se produisent avant la naissance (prénatale) ou après la naissance (postnatale). Par exemple, l'exposition au monoxyde de carbone, présent dans les gaz d'échappement des moteurs à combustion interne et dans les gaz d'émission s'il y a combustion incomplète des matières combustibles, peut produire des effets embryotoxiques ou fœtotoxiques ainsi que de la toxicité postnatale.

La lactation est une étape importante durant la période postnatale. En effet, l'allaitement maternel présente un avantage nutritionnel important pour le bébé, puisque le lait maternel est un aliment naturel qui contient les nutriments essentiels à son développement (acides gras, vitamines, minéraux, etc.). Il est donc important que ce soit un aliment sain. Bien qu'il existe plusieurs données relativement aux effets des médicaments sur le lait et l'allaitement, il y a cependant peu d'études relatives à la contamination du lait maternel par des substances chimiques présentes en milieu de travail. Plusieurs substances sont excrétées dans le lait, mais les conséquences sur le bébé allaité et sur l'allaitement sont encore très peu documentées.

Tableau 2.2: Principaux effets liés aux différents stades du développement humain (Gilles Lapointe, 2004)

Période	Préconception	Prénatale			Postnatale (lactation)
		I (2 semaines)	II (3-8 semaines)	III (9-38 semaines)	
Événement biologique majeur	Fonction de reproduction	Conception et implantation	Formation des organes	Augmentation de la taille des organes	Croissance et maturation
Effet principal	Infertilité	Mortalité prénatale	Tératogénéicité et embryotoxicité	Tératogénéicité et foetotoxicité	Trouble physiologique

5. Description des manifestations par systèmes biologiques et organes cibles

5.1. **L'hépatotoxicité** : C'est une atteinte du foie. Le foie est un organe vital, tout comme le cœur et les poumons. Il remplit de multiples fonctions et son rôle est très important dans le maintien de l'équilibre général. Il participe à la digestion, à l'emmagasinage des aliments ainsi qu'à la détoxification, en aidant l'organisme à se débarrasser de ses poisons, et à l'élimination. Il a un rôle important dans la transformation des substances circulant dans le sang, dont les substances toxiques qui y sont véhiculées et qui dans plusieurs cas peuvent y être neutralisées. C'est une cible pour de nombreux toxiques à cause de son important débit sanguin et de sa situation par rapport à la circulation sanguine.

5.2. **La néphrotoxicité** C'est un effet toxique sur le rein. Le rein est l'organe d'élimination responsable de la sécrétion de l'urine. Il joue un rôle dans la régulation de l'équilibre des liquides du corps et contribue à débarrasser le sang de ses impuretés, et notamment de certains toxiques (ex. : le cadmium, le chloroforme).

5.3. **La neurotoxicité** C'est un effet toxique sur le système nerveux. Le système nerveux est un ensemble de cellules spécialisées ou non dont l'unité fondamentale est le neurone. Les neurones assurent le transfert de l'information (influx nerveux) d'une partie du corps à une autre afin d'assurer le fonctionnement interne de l'organisme et ses relations avec le milieu extérieur. Le système nerveux est formé de deux

ensembles, le système nerveux central (dont l'abréviation courante est S.N.C.) et le système nerveux périphérique (S.N.P.).

Le système nerveux central comprend l'encéphale, lequel est constitué des organes situés dans la boîte crânienne (cerveau, cervelet et tronc cérébral) et de la moelle épinière. Le système nerveux périphérique est quant à lui constitué par les nerfs et leurs renflements (ganglions nerveux). Il existe diverses catégories d'effets neurotoxiques. Donnons comme exemples :

- ✓ la dépression du système nerveux central, dont les symptômes sont des maux de tête, des nausées, des vomissements, des étourdissements, etc. qui se manifestent à la suite d'une exposition à des solvants tels que le toluène et le xylène ;
- ✓ la neuropathie périphérique (affection du système nerveux périphérique) qui peut être produite par des solvants tels que le n-hexane ;
- ✓ le tétanos, qui consiste en des contractures musculaires et qui est causé par une toxine biologique produite par le *Clostridium tétanie*. Cette dernière peut pénétrer dans l'organisme à la suite d'une lésion de la peau ou des muqueuses (ex. : blessure avec un clou) ou à l'occasion de travaux agricoles ;
- ✓ La paralysie musculaire causée par une toxine biologique produite par le *Clostridium botulinum* et qui peut résulter de l'ingestion de certains aliments avariés ou de la contamination d'une plaie faite au moment de la manipulation d'un objet contaminé.

5.4. **La dermatotoxicité** On regroupe sous ce terme l'ensemble des effets toxiques des substances sur la peau (dermatose, sensibilisation cutanée). On utilise généralement l'expression dermatoses professionnelles pour les affections de la peau (dermatoses) pour lesquelles un lien a été établi entre la cause et le milieu de travail. Ce sont :

- ✓ les dermatoses qui proviennent exclusivement du milieu de travail, à l'occasion d'un contact cutané avec des produits, irritants et corrosifs, ou qui sont consécutives à une intoxication systémique, comme dans le cas de la chloracnée causée par des dioxines (que l'on trouve comme contaminant dans certains produits à base de biphenyles polychlorés ou BPC); et
- ✓ les dermatoses aggravées par le milieu de travail, comme celles qui peuvent être aggravées par un travail en milieu humide. (BRAHIMI, 2011)

5.5. La toxicité de l'appareil respiratoire : est constitué des voies aériennes supérieures (nez, pharynx ou gorge), de la trachée, des bronches, des bronchioles et des alvéoles pulmonaires. L'humain est exposé par inhalation à divers agents qui existent sous plusieurs formes (gaz, vapeur, gouttelettes, fines particules) et en diverses tailles et qui ont leur toxicité et leurs caractéristiques physiques propres. Les toxiques présents dans l'air inspiré sont absorbés dans l'organisme par les voies respiratoires pour ensuite se distribuer dans d'autres tissus et y exercer un effet systémique (dépression du système nerveux central causée, par exemple, par l'inhalation de fortes doses de toluène ou d'essence). Outre les effets de certains gaz et de certaines vapeurs, signalons également la pneumoconiose, maladie pulmonaire causée par l'inhalation prolongée de poussières, la silicose, causée par l'inhalation de silice cristalline (maladie qui apparaît généralement après plus de 20 ans d'exposition), l'emphysème et le cancer du poumon, causés par la fumée de cigarette, et l'asthme, induit par des spores de moisissures (ex.: aspergillus) ainsi que par certains enzymes contenus dans des détergents. (BRAHIMI, 2011)

5.6. La toxicité cardiovasculaire Ce sont les effets sur le cœur et les vaisseaux sanguins. L'exposition aiguë à des doses élevées de certains fréons, comme le fréon 113, peut provoquer des troubles du rythme cardiaque, tels qu'un ralentissement des battements du cœur (bradycardie).(BRAHIMI, 2011)

6. Relation des doses avec l'effet toxique

Un principe important en toxicologie veut que toutes les substances chimiques soient toxiques, car il existe toujours une dose pouvant causer un effet nocif. Mais le fait d'inhaler, de toucher et même d'ingérer des substances chimiques n'entraîne pas nécessairement l'apparition d'un tel effet.

La dose est la quantité d'une substance à laquelle un organisme est exposé. Elle est souvent exprimée en tant que quantité (mg/kg de poids corporel) de xénobiotique ayant pénétré l'organisme. Elle peut être exprimée de différentes manières (plus ou moins informatives) :

- ✓ La dose d'exposition, concentration dans l'air d'un polluant inhalé durant une certaine période (huit heures en général en hygiène du travail) ;

- ✓ La dose retenue ou absorbée (également appelée en hygiène du travail charge corporelle) qui est la quantité présente dans l'organisme à un moment donné pendant ou après une exposition
- ✓ La dose cible qui est la quantité de produit chimique (en mg) fixée par mg de macromolécule spécifique dans un tissu, la notion de dose comporte souvent un paramètre temporel, même s'il n'est pas toujours exprimé.
- ✓ La dose théorique selon la loi de Haber est $D = C * t$
où D est la dose, C, est la concentration du xénobiotiques dans l'air et t est la durée d'exposition à un produit chimique (Holmberg).

6.1. **La relation dose-effet** est la relation entre la dose et l'effet à l'échelle de l'individu. L'augmentation de la dose peut accroître l'intensité ou la sévérité d'un effet. Une courbe dose-effet peut être tracée pour l'ensemble de l'organisme, la cellule ou la molécule cible. Certains effets toxiques, comme la mort ou le développement d'un cancer, n'ont pas un caractère progressif : ils représentent des effets «tout ou rien». (Johanson). L'exemple suivant illustre bien cette relation : si une personne inhale accidentellement une substance très volatile.

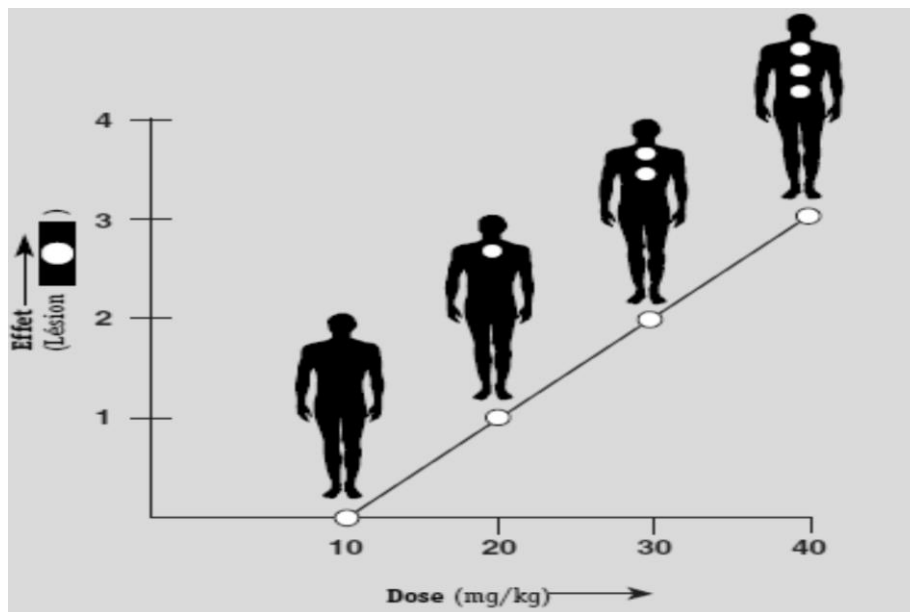


Figure 2.5: relation dose-effet

La manifestation des effets toxiques dépend de la quantité de la toxine inhalée et du seuil d'apparition de ces effets. Ainsi, au-delà de la dose seuil, les effets seront d'autant plus toxiques que la personne aura inhalé davantage de toxine.

La notion de seuil toxique est importante, car elle peut servir à fixer des normes. Elle représente la quantité minimale sous laquelle il ne se produit pas d'effet.

Au-dessus de ce seuil, l'effet observé dépend de la dose, et ce, bien qu'il y ait théoriquement des exceptions : par exemple, les cancérogènes génotoxiques. Ce seuil s'explique par le fait que le corps humain est constitué d'un grand nombre de cellules, de tissus et d'organes ayant une sensibilité variable et qu'il possède des mécanismes de défense ou d'adaptation.

La notion dose-effet est basique dans le cadre de l'estimation du degré d'une exposition 'sans danger' pour une substance chimique. Cette notion est indispensable pour expliquer les variations de l'effet d'une substance chimique que ce soit son intensité ou le pourcentage des individus qui répondent à un degré particulier de cet effet. Par exemple, le nombre d'animaux morts augmente avec l'augmentation de la dose de strychnine administrée, ou bien le nombre de personnes guéries qui augmente avec l'augmentation de la posologie des agents thérapeutiques administrés. La sévérité de la réponse observée sur chaque animal augmente avec l'augmentation de dose une fois le seuil de toxicité est dépassé.

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu et pour des expositions chroniques, deux grands types d'effets sanitaires peuvent être distingués : les effets à seuil de dose (effets non cancérogènes et effets cancérogènes à seuil et les effets sans seuil de dose (substances cancérogènes génotoxiques). Une même substance peut produire ces deux types d'effets.

Pour les effets à seuil de dose, on dispose en pratique et dans le meilleur des cas :

- d'un niveau d'exposition sans effet observé (NOEL : no observed effect level),
- d'un niveau d'exposition sans effet néfaste observé (NOAEL : no observed adverse effect level),
- d'un niveau d'exposition le plus faible ayant entraîné un effet (LOEL : lowest observed effect level),
- le niveau d'exposition le plus faible auquel un effet néfaste apparaît (LOAEL : lowest observed adverse effect level).

6.2. **La relation dose-réponse** est la relation entre l'exposition et le nombre d'individus qui présentent un effet donné. La figure 2.6 illustre bien qu'à certaines doses toutes les personnes ne sont pas atteintes, ainsi :

- Une augmentation de la dose peut entraîner une augmentation des effets chez un individu

- La proportion des individus affectés par une dose donnée devrait augmenter avec l'accroissement de la dose. (Lapointe, 2004).

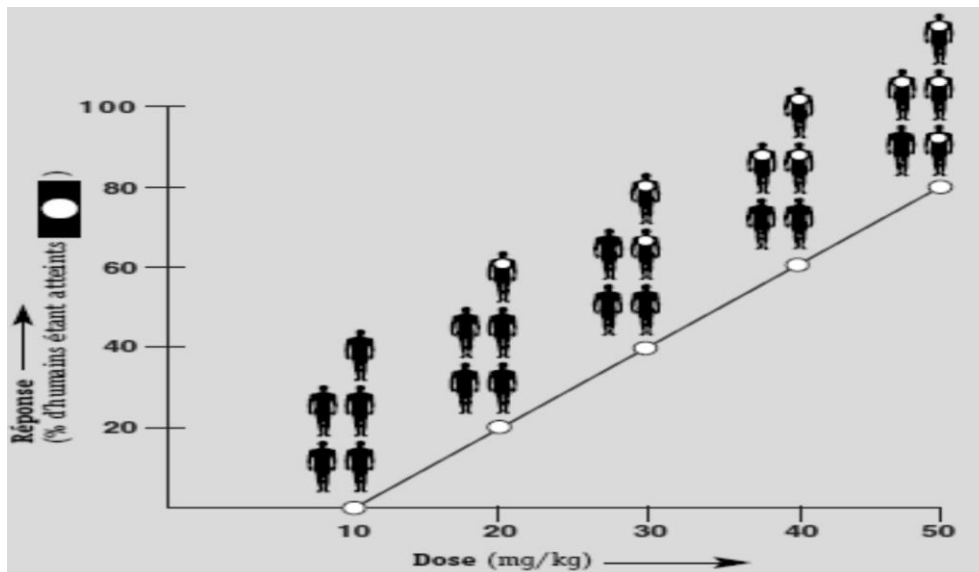


Figure 2.6: La relation dose-réponse

La courbe dose-réponse reflète les variations interindividuelles dans une population. La pente de la courbe varie d'un produit chimique à l'autre et selon le type d'effet.

Il existe d'autres courbes doses réponse (voir Figure 2.7).

- ✓ Elle peut être linéaire pour une gamme de doses donnée dès la dose zéro. Cela signifie qu'il n'existe aucun seuil de toxicité pour ces substances (cas des cancérogènes génotoxiques).
- ✓ Elle peut avoir une forme de J ou de U. Ceci indique que l'exposition à de faibles doses a des effets bénéfiques, alors que l'exposition à la même substance à fortes doses a des effets toxiques (cas de la radioactivité).
- ✓ A l'inverse elle peut avoir une forme en cloche qui témoigne d'effets à faible dose mais pas à forte dose (cas des perturbateurs endocriniens).

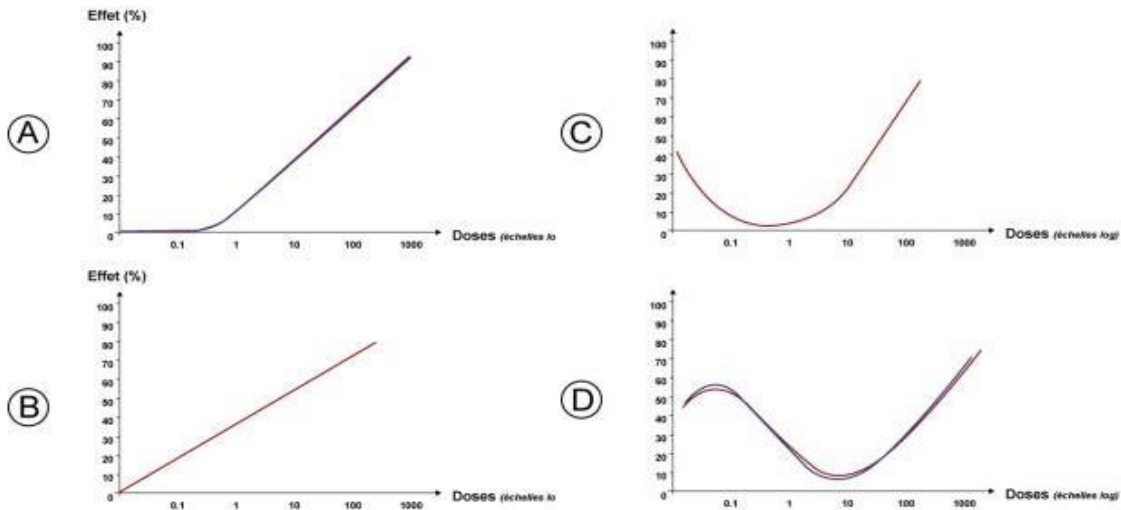


Figure 2.7: Type de courbe dose-réponse

7. Les éléments de base des tests toxicologiques pour l'évaluation de toxicité

L'étude de la toxicité d'une substance est l'ensemble des essais pharmacologiques, qui déterminent le degré ou le caractère nocif de cette dernière afin de réglementer son utilisation. L'action d'une substance toxique est évaluée en fonction de plusieurs paramètres entre autres son mode d'administration, la dose administrée, le taux de mortalité observée, l'évolution pondérale, l'histologie de certains organes, la modification de certains paramètres biochimiques du sang (Serrano, 1990)

L'évaluation de la toxicité s'appuie sur des études **qualitatives** (non mesurables) ou **quantitatives** (mesurables) adéquates. Il existe plusieurs types d'études qui nous permettent d'évaluer les effets d'un toxique. On peut les classer dans quatre catégories :

- ✓ les études épidémiologiques, qui comparent plusieurs groupes d'individus ou les études de cas, sont basées sur la théorie de la probabilité ou sur le fait que le hasard joue un rôle dans la prédiction d'événements futurs. L'inverse est l'approche déterministe, c'est-à-dire opposée à aléatoire et indique que quelque chose peut être prédit exactement, sans la complication supplémentaire d'une incertitude. (EFSA, 2015)
- ✓ les études expérimentales *in vivo* qui font référence à un phénomène dans lequel des expériences sont effectuées en utilisant un organisme vivant entier. Les deux formes de *in vivo* les expériences sont des études sur des animaux et des essais cliniques au cours du développement d'un médicament. L'effet global de l'expérience sur un

organisme vivant peut être observé chez *dans vivo* techniques. Ainsi, *in vivo* les expériences sont plus précises que *in vitro* expériences. (Pearson, 1986)

- ✓ les études *in vitro* : se réfère à un phénomène dans lequel une procédure donnée est effectuée dans un environnement contrôlé en dehors d'un organisme vivant. La majorité des expériences cellulaires sont effectuées *in vitro* comme c'est moins cher. Mais, la régénération des conditions physiologiques d'un organisme est difficile à l'intérieur d'un tube à essai. Par conséquent, les résultats de la *in vitro* les expériences sont moins précis. Cela signifie les résultats de *in vitro* les expériences ne correspondent pas aux circonstances entourant les organismes vivants. (Pearson, 1986)

- ✓ les études théoriques par modélisation *in silico* : Ces méthodes, également appelées les SAR ou (Q) SAR pour (*Quantitative*) *Structure-Activity Relationship* ou « systèmes experts », font appel à des outils informatiques, une relation entre la structure d'un composé ou d'une classe de composés et un effet biologique, et donnent une réponse de type oui/non. Les (Q) SAR utilisent des modèles mathématiques plus élaborés et donnent des réponses plus complètes. Ces deux catégories reposent sur des bases de données obtenues d'après des études *in vivo* ou *in vitro*, ou d'après des observations d'études cliniques, et les relient par des corrélations statistiques aux informations structurales. La qualité des (Q) SAR dépend donc de la qualité de la base de données utilisée. (Claude, 2009).

7.1. Types d'études toxicologiques

Les types d'études toxicologiques suivantes doivent être effectués pendant les tests non cliniques :

7.1.1. Études de toxicité sur la reproduction

Les études de toxicité sur la reproduction analysent l'effet du composé à l'étude sur la capacité à se reproduire et à se développer normalement. Ces études doivent être réalisées de manière adéquate pour la population devant être exposée au composé à l'étude et conformément aux considérations suivantes. (EUPATI, 2021).

- ✓ Les hommes peuvent être inclus dans les essais cliniques de phase I et II avant d'avoir effectué une étude sur la fertilité masculine, car une évaluation des organes reproducteurs mâles fait partie des études toxicologiques à doses répétées. Ces études

doivent cependant avoir lieu aussi tôt que possible. Dans tous les cas, une étude sur la fertilité masculine doit être effectuée avant le début d'essais cliniques de grande envergure ou de longue durée (essais de phase III par exemple). (EUPATI, 2021)

- ✓ Les femmes ne pouvant pas avoir d'enfants (stérilisées ou ménopausées par exemple) peuvent être incluses dans des essais cliniques sans études de toxicité sur la reproduction, si les études toxicologiques à doses répétées adaptées ont eu lieu (ce qui comporte une évaluation des organes reproducteurs féminins). (EUPATI, 2021)
- ✓ Si des femmes en état de procréer sont identifiées comme faisant partie de population d'utilisateurs potentiels du médicament, les études de toxicité sur la reproduction doivent être réalisées aussi tôt que possible. (EUPATI, 2021)

7.1.2. Études de tolérance locale

Des études de tolérance locale ont analysé les effets du composé sur la peau et les yeux. Ces études de toxicité locale font généralement partie des études de toxicologie générale. Pour soutenir un dosage limité chez l'homme par des voies non thérapeutiques (comme une dose intraveineuse unique pour déterminer la biodisponibilité absolue), une étude de tolérance locale à dose unique chez une seule espèce est généralement suffisante.

7.1.3. Études de génotoxicité

Les études de génotoxicité analysent l'effet du composé à l'étude sur les gènes et les chromosomes, et sont généralement nécessaires pour démontrer l'innocuité sur les humains. L'évaluation de la mutation génique est considérée comme suffisante pour étayer des essais cliniques à dose unique. Pour les essais cliniques à plusieurs doses, une évaluation supplémentaire des altérations chromosomiques dans les systèmes mammifères et toute une série de tests de génotoxicité doivent être effectués avant le lancement des essais cliniques de phase II. Si des résultats positifs sont obtenus aux tests de génotoxicité, des analyses complémentaires doivent être envisagées. (EUPATI, 2021)

7.1.4. Études de carcinogénicité

Les études de cancérogénicité évaluent l'impact des composés testés sur le développement du cancer. Les études de cancérogénicité sont souvent utilisées pour étayer les demandes d'autorisation de mise sur le marché de nouveaux médicaments. S'il y a des problèmes majeurs, des études de cancérogénicité doivent être menées pour assurer la sécurité des essais cliniques. Des essais cliniques à long terme avec des inspections fréquentes peuvent alors être

menés. Lorsque des médicaments sont utilisés pour traiter des maladies graves chez les adultes ou les enfants, des tests de cancérogénicité peuvent généralement être effectués après autorisation. On suppose que l'accès rapide aux médicaments est plus important pour le patient que les risques possibles, mais ces tests sont mieux effectués dès que possible.

7.2. Théorie de létalité :

Chez les espèces mammaliennes, lorsque le toxique pénètre dans l'organisme par toutes les voies, sauf la voie pulmonaire, la toxicité s'exprime par la Dose Effective 50 (DE50). Elle correspond à la quantité de

- **La dose effective (DE50)** : substance (exprimée en masse de toxique par kg de poids corporel) qui en moyenne produit un effet (vomissement, tremblement, ...) sur la moitié de la population.
- **La Dose Létale 50 (DL50)** : est la dose qui entraîne le décès de la moitié du lot d'animaux de laboratoire soumis au toxique étudié. Elle est souvent employée dans la littérature classique comme une mesure de la toxicité aiguë des produits chimiques (exprimée en masse de toxique par kg de poids corporel). Plus la DL50 est élevée, plus la toxicité aiguë est faible. Un produit chimique très toxique (avec une faible DL50) est dit violent.

La dose létale 50% (**LD50**) a été déterminée à partir de la formule de **Karber et Berhens (1935)**. Elle se calcule de la façon suivante :

$$DL_{50} = DL_{100} - \frac{\Sigma (a \times b)}{n}$$

Avec : DL₅₀ : Dose létale 50% ; DL₁₀₀ : Dose létale 100% ; a : moyenne de la somme des morts entre deux doses successives ; b : différence entre deux doses successives ; n : moyenne du nombre d'animaux utilisés par lot. (Emma, 2015)

Lorsque la substance administrée pénètre dans l'organisme par inhalation, la notion de dose est remplacée par celle de concentration,

- Concentration Effective 50 (CE50) et Concentration Létale 50 (CL50).

La concentration s'exprime par la formule :

$$\frac{Va}{(Va + Vd)} \times 100$$

Avec V_a = volume de gaz toxique et V_d = volume d'air dans lequel il est situé. Ces concentrations sont exprimées en mg/m^3 ou (ppm).

Cette distinction entre dose et concentration se décline pour les différents paramètres toxicologiques qui pourront être dérivés à partir de la relation dose-effet.

7.3. Valeurs toxicologiques de références (VTR) :

Une VTR est un **indice toxicologique** qui permet de qualifier ou quantifier un risque pour la santé humaine. Les VTR sont spécifiques d'une durée d'exposition (aiguë, subchronique ou chronique), d'une voie d'exposition (orale, respiratoire, cutanée,...), d'un type d'effet (reprotoxiques, cancérigène,...), voire d'une catégorie de population (enfant, femme enceinte,...). La construction des VTR constitue donc une étape clé de la démarche d'évaluation des risques sanitaires (réglementation Installations classées pour la protection de l'environnement "ICPE", prévention, gestion locale d'une situation dégradée). (Burgeap, 2006)

Dose absorbée par inhalation = dose absorbée par ingestion

Soit

:

$$\text{VTR}(\text{mg}/\text{m}^3) = \text{VTR}\left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{j}\right) \frac{P(\text{kg})}{V_{\text{resp}}(\text{m}^3/\text{j})} \frac{F_{\text{AO}}}{F_{\text{AI}}}$$

Le mode de construction des VTR dépend des données disponibles sur les mécanismes d'action biologique des substances et d'hypothèses communément admises : on distingue ainsi des «VTR sans seuil de dose» et des «VTR à seuil de dose».

- **Les VTR à seuil de dose** correspondent à une estimation de la quantité de substance à laquelle un individu peut théoriquement être exposé sans constat d'effet sanitaire néfaste. Sont classés dans cette catégorie principalement les effets non cancérigènes et cancérigènes non génotoxiques directs. (Burgeap, 2006)
- **Les VTR sans seuil de dose** s'expriment sous la forme d'un ERU (excès de risque unitaire) et se définissent comme une augmentation de la probabilité, 40 par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu exposé lors de sa vie entière à une unité de dose de la substance développe une pathologie. Il s'agit, pour l'essentiel, des effets cancérigènes génotoxiques directs (Burgeap, 2006).

7.4. Les seuils d'expositions

Selon (Ministre de l'écologie française, 2004) : Quatre niveaux de seuils de toxicité permettent d'encadrer les effets potentiels d'une situation accidentelle, l'exposition étant par voie respiratoire et de courte durée (de 1, 3, 10, 20, 30 et 60 min et 8 heures).

- ✓ **Le « seuil des effets létaux (SEL) »** correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer une mortalité au sein de la population exposée.
- ✓ **Le « seuil des effets irréversibles (SEI) »** correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle des effets irréversibles peuvent apparaître au sein de la population exposée.
- ✓ **Le « seuil des effets réversibles (SER) »** correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle la population exposée peut présenter des effets réversibles.
- ✓ **Le « seuil de perception (S P) »** correspond à la concentration entraînant la détection sensorielle de la substance chimique par la population exposée
- ✓ Les SEL et les SEI sont exprimés en ppm et en mg/m^3 pour des durées d'exposition de 1, 10, 20, 30 et 60 minutes.
- ✓ **La dose minimale avec effet nocif observé (LOAEL)** est la concentration ou la quantité la plus faible d'une substance trouvée par une expérience ou une observation qui cause une altération défavorable de la morphologie, de la fonction, de la capacité, de la croissance, du développement ou de la durée de vie d'un organisme cible distinct de organismes normaux de la même espèce dans des conditions d'exposition définies. (Duffus, 2007).
- ✓ **La dose sans effet nocif observé (NOAEL)** désigne le niveau d'exposition d'un organisme, déterminé expérimentalement ou par observation, auquel il y a pas d'augmentation biologiquement ou statistiquement significative de la fréquence ou de la gravité des effets nocifs du protocole testé. (Deshpande, 2017).

8. Le milieu professionnel face aux risques toxiques :

8.1. Les mesures techniques :

L'objectif fondamental est de maintenir les concentrations de tous les contaminants atmosphériques à des niveaux aussi faibles que possible.

Malheureusement certains individus hypersensibles peuvent développer des effets toxiques pour des expositions inférieures aux valeurs limites tolérables.

8.1.1. Prévention collective :

- Surveillance régulière de la concentration des produits toxiques dans l'atmosphère de travail.
- Remplacer le produit toxique par un produit moins nocif.
- Assurer une bonne aération des locaux de travail.
- Aspiration des vapeurs et poussières à la source d'émission.
- Travail en vase clos pour supprimer les émanations de produits toxiques.
- Le stockage des produits doit se faire dans des locaux bien aérés à l'abri de toute source d'ignition et les flacons bien étiquetés.
- Sensibilisation des travailleurs vis-à-vis du risque.
- Eviter de manger, boire, fumer sur les lieux de travail.

8.1.2. Prévention individuelle :

Après la mise en place de dispositifs de protection collective, et si un risque résiduel d'exposition à un produit chimique dangereux persiste, l'employeur doit mettre gratuitement à disposition de ses salariés des équipements de protection individuelle (EPI) (appareils de protection respiratoire, gants, lunettes, vêtements de protection...) adaptés aux risques. Il est tenu également d'en assurer l'entretien et de les remplacer si besoin. Ces équipements doivent être notamment certifiés CE et adaptés à la tâche à effectuer.



Figure 2.8: Les équipements de protection individuelle

Prendre en compte les contraintes des EPI

Le port d'équipements de protection individuelle sur de longues durées est à l'origine de gêne ou d'inconfort : poids, chaleur, pression excessive sur une partie du corps, gêne auditive ou visuelle, perte de dextérité... Afin de faciliter l'acceptation de l'EPI et d'améliorer son efficacité, il est important de respecter les règles suivantes :

- ✓ Choisir un EPI adapté à la nature du risque, aux caractéristiques du salarié (morphologie) et aux conditions de travail (durée, température ...).
- ✓ Associer les utilisateurs aux choix des EPI
- ✓ Former les opérateurs à leur utilisation
- ✓ Adapter les rythmes de travail pour prendre en compte les contraintes générées par le port d'EPI
- ✓ Demander conseil au médecin du travail pour identifier les EPI adaptés et rechercher des solutions appropriées pour certains salariés (allergiques, porteurs de lunettes...)
- ✓ Tester l'efficacité des EPI au poste de travail.

a. Différents équipements de protection individuelle contre les risques toxiques

- Appareil de protection respiratoire

L'utilisation d'un appareil de protection respiratoire doit être limitée à :

- ✓ Des opérations courtes et exceptionnelles (entretien ou nettoyage d'installations, transvasements de produits...),
- ✓ Des situations où le dispositif de captage ou d'assainissement de l'air est insuffisant (par exemple interventions dans des espaces confinés, travaux sur des matériaux contenant de l'amiante).

Pour choisir le type de protection respiratoire adapté, plusieurs critères doivent être pris en compte : teneur en oxygène dans l'atmosphère de travail, nature, toxicité et concentration des polluants, , fréquence et durée des opérations, conditions de travail (température, humidité, travail physique...), autres risques associés (projection de liquides, vibrations,...) ...

Pour les appareils de protection respiratoire filtrants, le logiciel PRÉMÉDIA permet d'estimer le temps d'utilisation de certaines cartouches anti-gaz en fonction des conditions rencontrées et spécifiées par l'utilisateur et ainsi de déterminer une fréquence de remplacement de ces cartouches.



Figure 2.9: Types d'appareil de protection respiratoire

- Gants :

Le port de gants est recommandé pour éviter ou limiter le contact avec les produits toxiques. Il faut donc choisir des gants capables de résister aux produits manipulés.

Avant de choisir un gant, il convient d'analyser le poste de travail pour déterminer les risques auxquels sont confrontés les utilisateurs, les contraintes de la tâche à effectuer et les caractéristiques des utilisateurs.

Critères à considérer pour choisir un gant de protection contre les risques chimiques

- ✓ Nature et caractéristiques des produits manipulés
- ✓ Type de contact avec les produits chimiques (immersion, risque de projection)
- ✓ Durée du port des gants
- ✓ Dextérité requise

- ✓ Facteurs susceptibles de dégrader les gants (risque mécanique, électrique, thermique...)
- ✓ État de surface des objets à manipuler (objets glissants, coupants...)
- ✓ Caractéristiques individuelles de l'opérateur (taille de la main, éventuelle allergie au latex ou à d'autres composants des gants...)
- ✓ Le logiciel (ProtecPo) peut aider au choix du type de gants. Il permet de présélectionner, en fonction des produits utilisés (solvants ou mélange de solvants), les matériaux polymères utilisés dans la confection de certains EPI (gants, combinaisons et bottes).

Pour une meilleure protection lors de la manipulation des produits toxiques, il est recommandé de porter des gants réutilisables. L'utilisation de gants fins à usage unique doit être limitée aux manipulations au cours desquelles la main n'est pas, sauf incident, en contact direct avec le produit. Dès qu'un contact avec le produit a lieu, les gants doivent être impérativement changés en prenant soin d'éviter le contact du produit avec la peau. Les mains seront ensuite lavées à l'eau et au savon.

L'utilisation de gants à manchettes est nécessaire lors de travaux nécessitant une immersion complète des mains.

Enfin, pour que les gants assurent une protection optimale, il est nécessaire de les utiliser et les entretenir correctement :

- ✓ lire les informations disponibles (fiche de poste rédigée par l'employeur, notice technique fournie par le fabricant de gant),
- ✓ inspecter les gants avant utilisation,
- ✓ laver les gants en respectant les recommandations du fabricant,
- ✓ se laver les mains avant et après chaque utilisation de gants
- ✓ ne pas partager ses gants pour éviter la transmission d'infections.



Figure 2.10: Gants de protection

- Lunettes, masques ou écran facial

Poudre, aérosols, liquides, gaz, vapeurs... les substances projetées ou présentes dans le milieu ambiant peuvent entrer en contact et réagir avec l'œil ou la peau. Le port d'un équipement de protection des yeux ou du visage (lunettes, lunettes masques, écrans faciaux...) est alors nécessaire.

Le choix de cet équipement est lié à l'analyse préalable des risques auxquels sont confrontés les salariés. Il doit être adapté aux contraintes de la tâche à réaliser (minutie, perceptions nécessaires des formes et couleurs, position du travailleur...) et de l'environnement de travail (luminosité, humidité...). Cet EPI doit de plus s'adapter au visage de l'opérateur.



Figure 2.11 : Protection faciale

- Vêtements de protection

Pour choisir un vêtement de protection contre les risques chimiques, il convient de connaître la nature du risque chimique (information sur le produit utilisé, type de contact, conditions d'utilisation, durée de protection,...), les contraintes rencontrées par les utilisateurs (morphologie, allergie,...) et les conditions de travail (espace confiné, humidité, température,...)

Les vêtements de protection contre les risques chimiques sont classés en 6 types en fonction des risques d'exposition). Pour chaque type de vêtement, il existe des classes de performance permettant d'évaluer le niveau de protection ; plus la classe de performance est élevée, meilleure est la protection. Attention, il n'existe pas de vêtement de protection assurant une protection contre tous les produits chimiques. (inrs)



Figure 2.122: Combinaison de protection

8.2.Rôle du médecin de travail :

8.2.1. Visite d'embauche :

Vérification de l'aptitude au poste au moment de la visite médicale d'embauche, par le médecin du travail qui doit procéder à un examen clinique minutieux à la recherche d'une éventuelle pathologie préexistante et à des bilans paracliniques, en fonction du risque encouru.

Procéder à la vaccination si le poste expose à un risque spécifique, avant que le sujet n'y accède.

8.2.2. Visite périodique :

Visites médicales périodiques qui permettent le suivi régulier de l'état de santé des travailleurs exposés à un risque toxique et de revoir l'aptitude.

L'examen clinique et les examens paracliniques, doivent être complets, pour dépister toute affection à un stade de début. (CHEMAA)

Les travailleurs en entreprises ne peuvent être assimilés à un groupe homogène de sujets exposés à des Matières chimiques dans des conditions bien définies. Ils diffèrent les uns des autres par l'âge, l'obésité, les aptitudes physiques, le sexe et divers facteurs physiologiques et Nutritionnels.

Le monitoring biologique de l'exposition permet donc d'apprécier le risque pour la santé par une évaluation de la dose interne de la matière toxique.

8.2.3. Visite spontanée :

A la demande du travailleur. Toujours penser à écarter une éventuelle pathologie professionnelle, en fonction des plaintes du travailleur. (CHEMAA)

8.3. Rôle de l'employeur :

C'est à l'employeur qu'incombe la responsabilité d'organiser la prévention de la contamination du milieu de travail; il devrait pourvoir à l'aménagement et à l'entretien des bâtiments, des installations, des machines et des postes de travail et organiser le travail de façon que le milieu de travail ne soit pas contaminé, ou du moins que la contamination résultant des opérations soit maintenue au niveau le plus bas possible, dans les limites d'exposition lorsqu'il en existe. (CHEMAA)

L'employeur devrait exiger que les mesures appropriées de prévention de la contamination du milieu de travail soient prises en considération et appliquées dès le stade de la conception des bâtiments et des installations, comme lors de toute modification technique pouvant avoir un effet sur la qualité de l'air aux postes de travail.

Lors de l'achat d'équipements ou d'installations (machines, matériels, véhicules), l'employeur devrait exiger que ceux-ci soient conformes aux normes d'hygiène du travail ou, à défaut de telles normes, conçus et protégés de façon à ne pas contaminer le milieu de travail.

Avant que des substances ne soient produites ou utilisées, l'employeur devrait étudier les risques qu'elles peuvent présenter pour la santé en vue de déterminer les mesures de prévention appropriées à ces risques, à défaut desquelles lesdites substances ne devraient pas être produites ou mises en œuvre.

L'employeur devrait pourvoir à la surveillance du milieu de travail, en veillant à ce que l'entreprise dispose de l'équipement ou des services requis. Les instruments nécessaires devraient être régulièrement entretenus et étalonnés.

L'employeur devrait s'assurer que tous les travailleurs sont convenablement informés des risques inhérents aux tâches qui leur sont confiées et des mesures à prendre pour prévenir les atteintes à leur santé. Cette information devrait également être communiquée, le cas échéant, aux entreprises, sous-traitantes et à leur personnel. Des dispositions particulières pourront être requises pour les travailleurs nouvellement embauchés, les travailleurs illettrés ou les travailleurs étrangers rencontrant des problèmes de langue.

L'employeur devrait s'assurer que le personnel d'encadrement est pleinement conscient de ses responsabilités en matière d'hygiène du travail, et notamment qu'il a reçu la formation nécessaire pour instruire convenablement les travailleurs des précautions à prendre dans l'exécution de leur travail et en cas d'incident dangereux.

8.4.Rôle des travailleurs :

Afin de protéger leur santé et celle de leurs collègues, les travailleurs devraient faire tout ce qui est en leur pouvoir pour prévenir le cation du milieu de travail. Les travailleurs devraient se conformer à toutes consignes pour la prévention de la pollution du milieu de travail qui leur sont données. S'il y a lieu, les travailleurs devraient se soumettre à un monitoring médical approprié.

Les travailleurs devraient porter des appareils de prélèvement individuels lorsque cela est nécessaire pour mesurer l'exposition individuelle aux polluants en suspension dans l'air. Lorsqu'on ne peut appliquer d'autres méthodes de lutte contre la pollution, par exemple lors de sûres travaux d'entretien, les travailleurs devraient porter l'équipement de protection individuelle fourni.

Lorsque des travailleurs, se fondant sur leur expérience professionnelle, ont des raisons de penser que l'exécution de la tâche qui leur a été confiée comporte des risques graves pour leur

vie ou leur santé, ils devraient avoir le droit de demander une étude complète avant d'entreprendre ou, le cas échéant, de poursuivre cette tâche. (Bureau international du Travail, 1981)

Les travailleurs devraient signaler immédiatement à l'employeur, à leurs représentants et, s'il y a lieu, à l'autorité compétente tout risque grave ou toute défectuosité pouvant entraîner une contamination du milieu de travail. (Bureau international du Travail, 1981)

Les travailleurs devraient informer le médecin du travail ou le service de l'entreprise chargé de l'application des limites d'exposition de toute modification de leur état de santé ou de toute réaction subjective de leur organisme afin de permettre une meilleure connaissance de la relation dose-effet. (Bureau international du Travail, 1981)

Conclusion :

Les effets toxiques varient considérablement par leur nature, l'organe cible et le mécanisme d'action. Une meilleure connaissance de ces caractéristiques peut améliorer l'évaluation des risques potentiels pour la santé et faciliter le développement de mesures rationnelles sur le plan préventif et thérapeutique.

CHAPITRE III

Identification des laines minérales

CHAPITRE 3 : Identification des laines minérales

1. Introduction

Un calorifuge est un matériau à faible conductivité thermique, c'est-à-dire un matériau capable d'opposer au flux thermique qui le traverse, ayant une grande résistance thermique. Il permet de réduire les fuites de chaleurs « refroidissement » ou l'entrée de chaleur « garder au frais ».

On trouve les calorifuges dans quasiment toutes les installations industrielles et tertiaires, principalement dans les industries chimiques, la production d'énergie, de chauffage urbain, de ciment, de papier, etc., mais aussi dans les hôpitaux, les aéroports, les entrepôts. On en trouve aussi dans l'habitat avec les circuits d'eau chaude sanitaire et de chauffage. (PETIT, 2010)

2. But

Les principales raisons qui conduisent à la mise en œuvre d'une isolation sont les suivantes :

- ✓ Eviter la dissipation de chaleur ou de froid dans l'air ambiant afin de réduire les pertes et de réaliser une économie d'énergie. Dans ce cas, l'isolation est du type "conservation de la chaleur" ou "conservation du froid".
- ✓ Se défendre contre la condensation (ou le givrage) de la vapeur d'eau de l'air atmosphérique sur les tuyauteries froides. Dans ce cas, l'isolation est du type "anti condensation" ou "antigivre".
- ✓ Protéger le personnel, pouvant avoir à côtoyer des surfaces chaudes au cours d'opérations normales, contre les risques de brûlure par contact (cette protection pouvant être faite par de simples grillages ou par une isolation thermique). Dans ce cas, l'isolation est du type "protection du personnel". (isolation, 2016)

3. Domaine d'application

Il existe de nombreuses utilisations et le matériau d'isolation thermique est utilisé pour l'isolation thermique, l'isolation phonique et la prévention des incendies. Leur but est d'isoler les combles habitables ou perdus, murs intérieurs et extérieurs, sols sous chape, sols, plafonds, toitures, terrasses, canalisations, isolation entre deux murs. En climatisation ou en ventilation,

ils peuvent former des conduits de circulation d'air. Ils peuvent isoler les chaudières, les fours, les équipements de réfrigération et les appareils électroménagers. Elles apparaissent également dans d'autres applications :

- ✓ cultures hors sol ;
- ✓ écrans routiers antibruit ;
- ✓ renforcement de produits bitumineux, de ciments, de matériaux composites...

4. Choix de l'isolant

Le choix d'un matériau isolant implique de prendre en compte toutes les contraintes que le matériau isolant devra supporter pour assurer son efficacité. Il faut donc tenir compte de la contrainte mécanique que doit supporter le matériau isolant, de toute érosion ou comportement chimique ou climatique en cas d'incendie.

4.1. Critères du choix de l'isolant

Les critères suivants doivent être pris en compte pour la sélection d'un système d'isolation approprié :

4.1.1. Exigences fonctionnelles

a. Dimensionnement des éléments à isoler : L'isolation doit être prise en compte dès la conception de l'installation. Les épaisseurs d'isolation doivent donc être définies dès les premières phases du développement (insulation, 2009).

b. Fonctionnement de l'installation : Le fonctionnement de l'installation doit être pris en compte lors de la sélection d'un système d'isolation. On distingue ainsi les procédés continus et discontinus, et ceux où le fluide transporté présente une température variable. Dans un processus continu, la température du fluide est constamment supérieure ou inférieure à la température ambiante. Dans un processus discontinu, l'installation est mise à l'arrêt entre les différentes phases ou cycles de production. La température du fluide peut par conséquent être à température ambiante. (insulation, 2009).

c. Températures de service : Seuls des matériaux isolants dont le comportement demeure stable aux températures de service prévues peuvent être employés. La température de service maximale du matériau isolant concerné est dans ce cas le critère de jugement à prendre en compte (insulation, 2009).

d. Déperdition calorifique ou fluctuations de température admissibles pour le fluide : Dans de très nombreux procédés, les fluides contenus dans les réservoirs, colonnes ou cuves

doivent être maintenus dans des limites de température déterminées. Dans le cas contraire, le processus chimique ne se déroule pas correctement, le fluide se solidifie, ce qui empêche le pompage ou le transport. Dans le cas des gaz de combustion et des fumées, un refroidissement trop important peut provoquer des condensations d'acide sulfurique, ce qui provoque une forte corrosion des conduits et des tuyauteries. Pour les produits liquides, il est important qu'ils maintiennent la température souhaitée jusqu'en fin de circuit. (insulation, 2009).

e. Protection contre le gel : En cas de gel, l'installation peut tomber en panne ou être endommagée par la dilatation du fluide congelé (ex : de l'eau). Des mesures adéquates doivent être prises pour éviter le gel de l'installation. L'isolation limite les pertes calorifiques et retarde par conséquent la congélation. L'isolation seule ne peut cependant pas éviter le gel d'une installation. Un traçage thermique peut pour cela s'avérer nécessaire. Afin d'éviter le gel, l'isolation doit être conçue de telle sorte que les pertes calorifiques de l'élément isolé soient inférieures à la chaleur apportée par le traçage thermique. (insulation, 2009).

f. Facteurs environnementaux

Le système d'isolation doit résister aux facteurs environnementaux tels que :

- ✓ Les intempéries
- ✓ Les atmosphères corrosives
- ✓ Les charges mécaniques

g. Travaux d'entretien et d'inspection

Afin de ne pas compliquer les interventions courantes d'entretien et d'inspection liés à l'isolation, il convient de prendre en compte les zones sujettes à une maintenance intensive dès la phase de conception. (insulation, 2009).

4.1.2. Considérations de sécurité

- a) **Protection des personnes :** Une surface de plus de 60°C peut entraîner des brûlures par simple contact. Les consignes de prévention des accidents stipulent à cet égard que les éléments d'installation accessibles, doivent être conçus de telle sorte que le personnel ne soit pas exposé à un risque de lésions par brûlures (Températures superficielles maximales admissibles ne doit pas dépasser 60 (insulation, 2009).
- b) **Protection contre les risques d'incendie et d'explosion :** De manière générale, la rapidité de combustion d'un bâtiment ou d'une installation technique peut rapidement augmenter en présence de matériaux isolants inflammables. Les isolants ininflammables tels que la laine de roche (dont le point de fusion est supérieur à

1.000°C) ne contribuent pas à la combustion, et offrent une protection aux éléments de l'installation qu'ils isolent (insulation, 2009).

4.1.3. Optimisation des coûts

Les coûts d'isolation comportent les frais de matériau, de main d'œuvre et de maintenance ainsi que les frais financiers.

4.1.4. Protection anticorrosion

Les protections anticorrosion manquantes ou défectueuses provoquent toutes les années des pertes économiques importantes. Il en résulte une diminution sensible de la durée de vie des équipements techniques, tandis que les fréquentes interventions de dépannage ou de révision affectent la rentabilité de l'installation. L'idée selon laquelle le système d'isolation contribue à la protection anticorrosion est fautive. Chaque équipement spécifique doit être étudié pour évaluer la nécessité d'une protection anticorrosion et déterminer les mesures à prendre. (insulation, 2009).

4.2. Isolant chaud

Les isolants les plus fréquemment employés sont les isolants à laine minérale. Les laines minérales sont des fibres de silicates vitreux artificiels appartenant à la famille des fibres inorganiques synthétiques. On parle de laine lorsque les fibres sont positionnées de manière quelconque les unes par rapport aux autres. Et c'est l'ensemble de fibres en matières minérales amorphes, de consistance laineuse, et obtenues normalement à partir de laitier, de roche ou de verre (définition réglementaire selon norme NF B 20-001).

Selon le matériau utilisé pour les fabriquer, elles se nomment :

- ✓ Laine de verre, élaborée à partir de sable et de verre recyclé (calcin),
- ✓ Laine de roche, élaborée à partir de basalte,
- ✓ Laine de laitier, élaborée à partir de laitier de hauts-fourneaux (Guimon, 2013).

Le diamètre des fibres des laines minérales d'isolation est plus grand en moyenne que celui des fibres d'amiante (2 à 3,5 microns pour les laines de roche et de laitier, 2 à 8 microns pour la laine de verre, moins de 1 micron pour l'amiante). À la différence de l'amiante, elles se coupent transversalement (et non pas longitudinalement en fibrilles de diamètres inférieurs).



Figure 3.1: les laines minérales d'isolation

4.2.1. Composition

- Les laines de verre, de roche ou de laitier contiennent :
 - ✓ Plus de 90 % de fibres,
 - ✓ 3 à 5 % de liants organiques (résines phénoliques) qui assurent la cohésion du produit,
 - ✓ moins de 1 % d'huile, qui limite l'émission de poussières et l'absorption d'eau. (Guimon, 2013)
- Dans la laine minérale, l'orientation des fibres est aléatoire, tandis que dans les filaments continus, l'orientation des fibres est parallèle les unes aux autres.

4.2.2. Caractéristiques

a) Caractéristiques physiques :

Selon (Guimon, 2013), les laines minérales offrent une bonne résistance à la température, jusqu'à 600 ou 800 °C.

- Les liants utilisés dans les laines minérales se dégradent à une température supérieure à leur température de polymérisation (environ 200 °C).
- Les produits finis se présentent sous des aspects variés (NF B 20-001) :
 - **feutres** d'épaisseur supérieure à 10 mm sous forme de rouleaux, bandes, nappes ou matelas ;
 - **panneaux rigides** ou semi-rigides ;
 - **coquilles** préformées en cylindres annulaires ;

- laines à projeter ;
- produits moulés ;
- produits lamellaires ;

b) Caractéristiques chimiques

Tableau 3.1: caractéristiques réglementaires de la laine minérale

Propriétés		Unité						
Conductivité thermique	0.040	W/m K						
Masse volumique	12-14	Kg/m ³						
Réaction au feu	Cs1d0 / M1	(voir annexe 2)						
Densité	10 à 150							
Chaleur spécifique	840 à 1000	J/kg °C						
Résistance à la traction	≥2× son poids	kPa						
Coefficient d'absorption acoustique (Epaisseur100mm)	125	250	500	100	2000	4000	Hz	
	0.66	0.97	1.07	1.04	1.03	1.06	As	

4.2.3. Impuretés présentes :

Des particules non fibreuses (Shot) sont produites lors de la fabrication des fibres de roche et de laitier. Elles peuvent représenter 20 à 50 % en poids du matériau pour les laines de roche et de laitier, mais ne sont qu'à l'état de trace pour les laines de verre. Bien que ce soit la forme "fibre" qui confère l'essentiel des propriétés isolantes, la présence de Shot ne semble pas altérer ces propriétés, (Ducamp, 2012).

Depuis les années 1950, des huiles et autres lubrifiants sont additionnés aux laines durant le traitement pour réduire la production de poussières du produit. Un liant organique peut être appliqué sur les laines immédiatement après la formation des fibres afin de maintenir les fibres sous forme de masse spongieuse (ensimage). Ce liant est habituellement une résine formo-phénolique. D'autres additifs appliqués sur les laines peuvent inclure des agents antistatiques, des agents d'élasticité, des stabilisants et des inhibiteurs de micro-organismes. Depuis quelques années, d'autres résines sont utilisées, les résines mélamines ou acryliques. Les liants contenus dans les laines d'isolation restent quantitativement faibles (1 à 10 % en moyenne). Les producteurs annoncent qu'un fort dégagement de formol, de phénol et d'autres composés se produit lorsque les laines sont portées pour la première fois au-dessus de 200 °C

environ. Mais à basse température, voire à température ambiante, le dégagement des composés organiques volatils est aussi présent. (Ducamp, 2012).

4.2.4. Cycle de vie

a) Fabrication :

Selon (Ducamp, 2012); Toutes les LM sont obtenues suivant un même procédé général :

Les matières premières, que sont le basalte et le carbonate de calcium --pour la laine de roche, le laitier de haut fourneau pour la laine de laitier et le sable pour la laine de verre, sont fondues à des températures comprises entre 1 000 et 1 500 °C. Puis ce mélange est coulé afin de permettre le fibrage par différents procédés (centrifugation dans un disque percé pour la laine de verre, centrifugation sur des roues à rotation rapide pour les laines de roche et de laitier) ;

Un liant garantissant la tenue des fibres entre elles est pulvérisé à la sortie et les fibres sont soufflées sur un tapis roulant pour former un matelas qui passe ensuite dans un four afin de polymériser le liant. C'est ce liant qui va donner les différentes couleurs connues pour les LM (jaune ou vert essentiellement). D'autres produits peuvent être rajoutés suivant les spécificités attendues du produit (agents supprimeurs de poussières, agents antistatiques, agents mouillants, résines) ;

À partir de là, le produit peut être découpé et emballé tel quel, ou bien partir dans un circuit dit secondaire afin d'y être transformé en une grande variété de formes (flocons, plaques, pièces de forme).

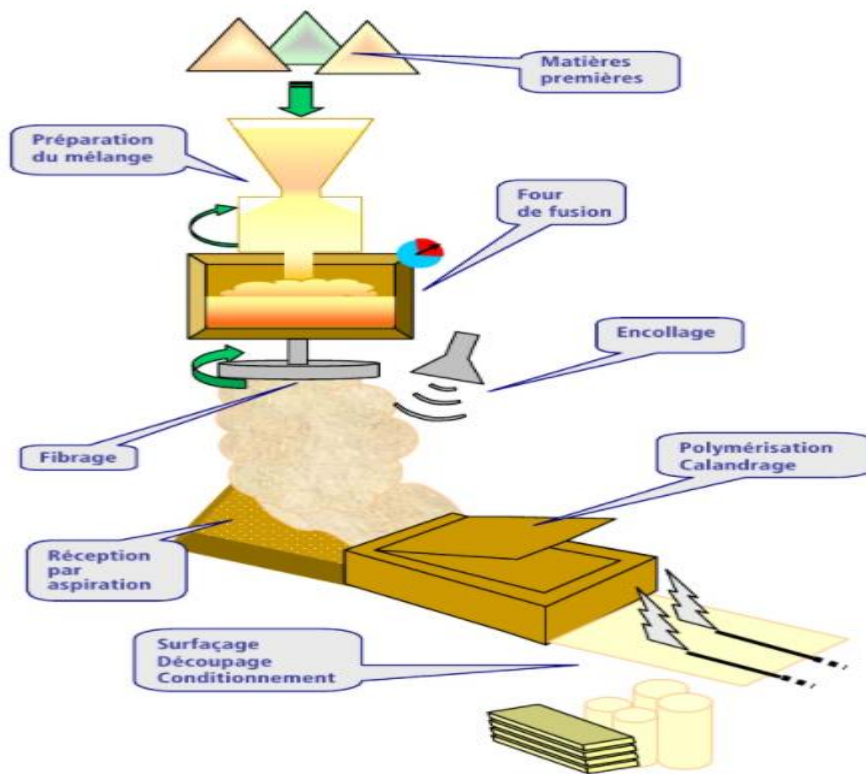


Figure 3.2 : Schéma descriptif du process de fabrication des laines minérales

b) La mise en œuvre :

L'isolation des tuyaux peut être réalisée de différentes façons. Elle fait partie du calorifugeage, qui désigne l'isolation thermique de toutes les installations où circulent des fluides : tuyaux mais aussi les réservoirs, cumulus et ballons d'eau chaude dans le but d'éviter les déperditions thermiques mais aussi de limiter les émissions de gaz à effet de serre. (Batiactu, 2017).

Parmi les techniques employées, les plus fréquentes sont :

- ✓ La bande isolante, solution facile à mettre en place mais d'une efficacité limitée.
- ✓ Les manchons rigides ou souples, en mousse de polyéthylène ou élastomère. Fendus dans la longueur, ils se posent très facilement sur les tuyaux. Ils existent en plusieurs dimensions et doivent être ajustés pour une meilleure efficacité.
- ✓ La laine minérale sous forme de coque rigide, qui offre une bonne protection thermique mais qui est volumineuse et reste plus difficile à placer. Certaines coquilles sont dotées d'un pare-vapeur qui protège également la canalisation de l'humidité.
- ✓ L'isolation avec traçage thermique des conduits, qui consiste à installer le long des canalisations un câble électrique sous forme de ruban chauffant entouré d'un isolant.

Le câble chauffant peut être à résistance en série, ou à résistance en parallèle ou encore se présenter sous la forme d'un ruban autorégulant. (Batiactu, 2017).

Les conditions de la mise en œuvre : Selon (Guimon, 2013)

- ✓ Les feutres ou panneaux sont agrafés, collés, fixés mécaniquement ou déroulés (sur les sols)...
- ✓ La projection, le soufflage et l'injection requièrent une qualification particulière du personnel :
 - lors de la projection, le flochage est fabriqué sur place à l'épaisseur demandée. L'opérateur projette le mélange humide de fibres et de divers adjuvants. Celui-ci adhère directement au support, préalablement imprégné d'un primaire d'accrochage ;
 - lors du soufflage ou insufflation, la laine sèche en vrac est soufflée par de l'air sur les sols pour former un matelas de l'épaisseur voulue ;
 - lors de l'injection, la laine brute sèche est envoyée par de l'air, dans des espaces clos d'épaisseur réduite, entre deux murs par exemple.

c) Recyclage et déchets ;

Il suffit de l'apporter à la déchetterie

Mais les choses se compliquent quelque peu au stade du processus de fabrication que l'on appelle l'étape de fibrage. Car c'est à ce moment-là qu'est ajouté à la formulation, un liant organique de la famille des polymères thermodurcissables : de la résine phénoplaste. Ainsi la laine de verre devient un produit composite -- qui contient également des adjuvants, certes en faible quantité --, toujours recyclable en théorie, mais finalement rarement recyclé dans la pratique. Les technologies de recyclage sont en effet complexes et coûteuses.

Par ailleurs, la laine de verre potentiellement recyclable est généralement issue de travaux de déconstruction de bâtiments. Elle se retrouve donc mêlée à d'autres déchets de chantier et devient encore plus difficile à recycler (Mayer, 2017).

4.3. Isolant froid

Les isolants les plus fréquemment employés sont les isolants à structure cellulaire, ils sont d'origine :

- végétale comme le liège ;
- synthétique le polyuréthane

Les polyuréthanes sont obtenus par une réaction, contrôlée par des catalyseurs, entre des polyols (polyesters, polyéthers, glycols ou autres composés polyhydroxyles), et des polyisocyanates. Ils possèdent le meilleur pouvoir isolant parmi les isolants usuels et il est très résistant à la compression et adapté en milieu humide ce qui lui confère une grande polyvalence. En revanche, le produit a un mauvais comportement au feu (Protecor, 2019).



Figure 3.3 : la pose du polyuréthane

4.3.1. Caractéristiques du polyuréthane

- **Caractéristiques physiques** : (Bayer, 2019)

Les types du produit fini peuvent être simplifiés dans ce schéma

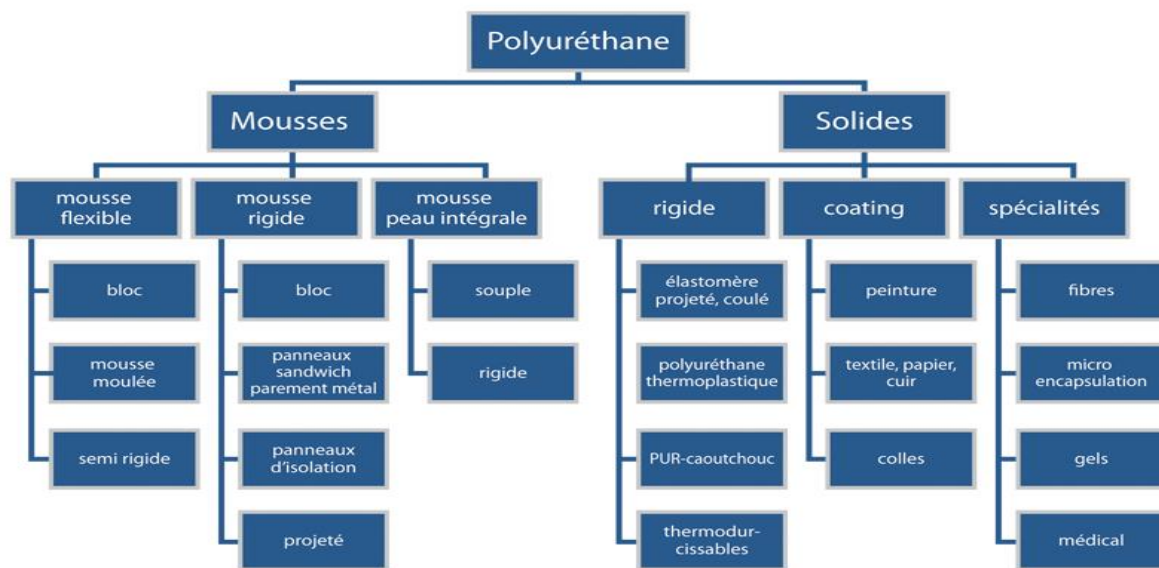


Figure 3.4 : les types du produit finis du polyuréthane

- **Caractéristiques chimiques** : (sylvain, 2011)

Tableau 3.2: Caractéristiques du polyuréthane

Propriétés		Unité
Conductivité thermique	0.022 à 0.028	W/m K
Masse volumique	28 à 32	Kg/m ³
Réaction au feu	E	
Densité	32	Pas d'unités
Energie de fabrication	30	KW/h kg
Résistance à la traction	45	mPa
Coefficient d'absorption acoustique	Ne joue pas le rôle d'un isolant phonique	

4.3.2. Cycle de vie

- **Fabrication**

Les polyuréthanes sont produits par la réaction d'un isocyanate et d'un polyol de divers types (isocyanates utilisés le plus souvent : TDI (toluenediisocyanate) et MDI (methylenebisdiphenyldiisocyanate) ; polyols utilisés le plus souvent : PTMEG (polytetramethyleneether glycol), PPG (polypropyleneether glycol)).

Lors ce processus, les matières premières sont pompées de leur propre cuve de stockage vers un réacteur agité commun, gardé sous contrôle de pression et de température. Ici, les additifs sont incorporés selon une recette spécifique. Le contrôle de la température à l'intérieur des cuves est habituellement fait par un système de recirculation (Guichon).

- **Mise en œuvre ;**

Le polyuréthane peut être mis en œuvre de trois façons.

- ✓ **En pièces de forme (douelles ou coquilles) ;** Soit découpées mécaniquement dans des blocs moulés ou obtenus sur une chaîne à expansion continue. — Soit moulées en atelier; dans ce cas, la mise en œuvre des pièces de forme se fait comme celle des autres matériaux rigides.

- ✓ **Par expansion in situ (sur site)**

L'injection des composants, isocyanate d'une part, et polyols additionnés du gaz d'expansion et de l'ignifuge d'autre part, se fait entre l'équipement et une enveloppe extérieure, préalablement mise en place. La régularité de l'épaisseur est en général obtenue par un entretoisement au moyen d'éléments de polyuréthane rigide à forte masse volumique apparente. L'enveloppe extérieure est le plus souvent métallique, parfois en polyéthylène à haute résistance.

L'appareillage d'injection comprend essentiellement un pistolet d'injection, des pompes doseuses et des réservoirs régulés thermiquement. L'ensemble de l'opération chimique doit répondre impérativement à des conditions de dosage, de température, de pression et d'humidité rigoureusement contrôlées, car la qualité de l'isolant en sera la conséquence immédiate. L'inconvénient majeur de ce procédé réside dans la difficulté de contrôler la qualité de la masse obtenue ; s'il est nécessaire d'effectuer ce contrôle, un démoulage avec application préalable d'un produit démoulant disposé sur la face interne du revêtement métallique peut être réalisé.

- ✓ **Par projection** : Les composants sont projetés sur la surface à isoler au moyen d'un matériel ad hoc. La régularité s'obtient par la conjonction d'un certain nombre de critères : habileté de l'applicateur, formulation de la mousse, conditions climatiques (température ambiante, vent, humidité relative) et lorsque la planéité de l'isolation est réussie, la réalisation de l'écran pare-vapeur est aisée. Cette technique est plus particulièrement utilisée pour de grandes surfaces (réservoirs de stockage notamment).

- **Déchets et recyclage :**

Les déchets polyuréthanes sont classés comme des déchets non dangereux. Cependant, les déchets d'isolation polyuréthane «fin de vie» sont trop précieux pour être perdus et enfouis sous terre. La profession polyuréthane encourage les gouvernements nationaux à faciliter le tri des déchets de démolition en séparant les matières minérales des matières organiques afin de fournir une ressource suffisante en déchets riches en énergie pour traiter les déchets organiques non recyclables. Il s'agit d'une condition préalable pour détourner les polyuréthanes et les autres déchets organiques des sites d'enfouissement.

Par ailleurs, l'industrie est consciente de sa responsabilité, des essais sont en cours au niveau européen pour mettre en place des systèmes de collecte pour les déchets polyuréthanes de construction afin de les détourner des sites d'enfouissement et de les orienter vers les autres options de fin de vie.

4.4. Les effets sur la santé

Les études réalisées dans le secteur de la production (où les niveaux d'exposition sont généralement faibles).

a) Court terme

La nature des fibres (dimensions, composition chimique, propriétés de surface et persistance en milieu pulmonaire) joue un rôle dans les mécanismes toxiques induits par les laines. Seules les fibres de diamètre géométrique inférieur à 3 µm atteignent le poumon profond (zone des alvéoles pulmonaires). Celles dont le diamètre dépasse 4 µm, peuvent être à l'origine d'irritations de la peau, et aussi des yeux et des voies respiratoires supérieures. Elles s'incruster dans l'épiderme, provoquant l'apparition de démangeaisons puis de lésions

diverses. La plupart du temps, ces symptômes sont transitoires et surviennent essentiellement en début d'exposition. Des récurrences peuvent survenir, notamment après des arrêts prolongés des expositions.

b) Long terme

- ✓ Urticaires et eczémas ont aussi été observés. Les eczémas seraient notamment causés par les additifs présents dans les laines, en particulier les résines, le formol et parfois les métaux (nickel, cobalt, chrome) contenus dans les laines.
- ✓ Des manifestations allergiques respiratoires telles que l'asthme ou rhinites peuvent être provoquées par la présence des liants dans les fibres.
- ✓ Cancers et fibrose pulmonaire : une fibre pénètre les alvéoles pulmonaires quand elle mesure moins de 3 micromètres de diamètre, les fibres de laine de roche mesurent en moyenne entre 2 et 3,5 micromètres de diamètre. (NicoLescours, 2014)
- ✓ La relation entre les expositions aux laines et l'apparition de bronchites chroniques ne peut être établie avec certitude à partir des données épidémiologiques actuelles.
- ✓ Il existe des preuves limitées de la cancérogénicité des LM chez l'animal, qui induisent des tumeurs par voie intrapéritonéale, mais pas par voie inhalatoire. Les études portant sur les travailleurs du secteur de la production de LM ne mettent pas en évidence d'augmentation du risque de cancer ou de pathologies respiratoires non malignes.

Cependant, l'exposition dans le secteur de la production est d'un niveau généralement plus faible que chez les utilisateurs de ces matériaux, pour lesquels les données épidémiologiques sont insuffisantes pour évaluer le risque associé aux LM du point de vue de leur cancérogénicité pour l'homme.

4.5. Réglementation

- Classification

CIRC : groupe 3 (l'agent - le mélange ou le mode d'exposition - ne peut être classé quant à sa cancérogénicité pour l'homme) ; groupe 2B (l'agent ou le mélange est un cancérogène possible pour l'homme) jusqu'en 2002 ;

Union européenne :- cancérigène de catégorie 3 (substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation suffisante).

- **Étiquetage**

Laines minérales biopersistantes et mélanges contenant 1 % ou plus de laines minérales bio - persistantes (règlement CLP) :

ATTENTION



H351 – Susceptible de provoquer le cancer

-Mélanges contenant 1 % ou plus de laines minérales biopersistantes (système de classification et d'étiquetage préexistant) :



R38 ; Xi ; irritant pour la peau

R40 – Effet cancérigène suspecté – preuves insuffisantes

Pour les articles (ou produits contenant des laines minérales) susceptibles d'émettre des fibres dans l'atmosphère des lieux de travail lors de leur utilisation (laines en vrac, produits non prédécoupés, etc.), il est fortement préconisé de fournir une information sur les dangers, sous forme d'un étiquetage ou d'un document reprenant le contenu d'une fiche de données de sécurité. (Voir annexe 3)

N° CAS 287922-11-6 (laine de minérale HT) ;

N° CAS RN 194718-72-4 (laine de roche) ;

N° index européen : 650-016-00-2 ;

CHAPITRE IV
Etude des statistiques des effets toxiques

Chapitre 4 : Etude des statistiques des effets toxiques

1. DESCRIPTION DU SITE « COMPLEXE GP1Z »

Le complexe GP1/Z (gaz de pétrole liquéfié) fait partie des complexes de liquéfaction appartenant à l'activité (AVAL) de l'entreprise nationale SONATRACH.

Situation géographique : situé sur la côte, à 40 Km de la ville d'Oran et à 8 Km de la ville d'Arzew, entre la centrale thermoélectrique de Mers EL HADJAJ à l'Est et les complexes de GNL à l'Ouest (Fig. 4.1).



Figure 4.1: Localisation du complexe GP1Z sur la zone industrielle d'Arzew

1.1.Fiche technique du complexe GP 1Z :

Le complexe a pour mission la production du GPL (Propane et Butane) commerciaux destinée aussi bien au marché national qu'au marché international.

- ✓ **Raison Sociale** : Complexe GP1Z
- ✓ **Superficie** : 120 hectares.
- ✓ **Effectifs** : 777 agents.
- ✓ **Objectif** : 10.8 Mt/an de GPL.
- ✓ **Produits** :
 - Propane Commercial
 - Butane Commercial
- ✓ **Procédé Utilisé** : Distillation sous pression.
- ✓ **Nombre de Trains** : Neuf (09) trains de 1,2 Mt /an chacun.

- ✓ **Constructeur** : Consortium japonais IHI (Ishikawajima Arima Heavy Industries) et C. ITOH Compagnies.
- ✓ **Date de démarrage des travaux** : 10 Novembre 1980
- ✓ **Date de Mise en Production du premier train Phase I** : 12 Décembre 1983.
- ✓ **Date de Mise en Production du premier train Phase II** : 24 février 1998.
- ✓ **Date de Mise en Production du premier train Phase III** : 12 février 2010.
- ✓ **Enlèvements** : Deux quais de chargement recevant navire des Gaz Pétrolier Liquéfier d'une capacité de 3 000 à 50 000 tonnes de GPL (D1, M6)
- ✓ **Une rampe de chargement par camions** : Six (06) camions.
- ✓ **Destination de la Production** : Exportation et Marché national.
- ✓ **Source d'Approvisionnement** : Gaz en provenance des champs gaziers du sud algérien.

1.2. Organisation générale

Le site peut être divisé en 4 grandes zones :

- ✓ • A l'Ouest : la zone de stockage de GPL réfrigéré,
- ✓ • Au Sud-ouest : la zone de stockage de GPL à température ambiante, zone d'arrivée de charge et zone de chargement de camions,
- ✓ • Au Nord, dans la zone médiane : 4 trains de procédé (phase 1), production d'huile chaude,
- ✓ • Au Nord : broches, station de pompage d'eau de mer, traitement des eaux de récupération,
- ✓ • Au Nord-est : 5 trains de procédé (phase II et III), production d'huile chaude, et zone des utilités,
- ✓ • Au Sud : bâtiments des services administratifs, techniques et utilités,
- ✓ • Au sud-est : parking et centre de formation

1.3. Description détaillée des activités et des installations

- ✓ Découpage fonctionnel :
- ✓ Dans la présente étude, le site a été « découpé » en sections fonctionnelles telles que suivantes:
- ✓ • Section d'arrivée et de stockage de la charge
- ✓ • Section de déshydratation

- ✓ • Section de séparation
- ✓ • Section de réfrigération de propane et de butane
- ✓ • Four
- ✓ • Bacs de stockage produits finis réfrigérés
- ✓ • Stockage produits finis sphères sous pression et chargement camions
- ✓ • Récupération du BOG (Boil Off Gaz) ou gaz d'évaporation
- ✓ • Chargement navires
- ✓ • Utilités : Chaudière, Circuit GN, systèmes torches et Blow down, stockage diesel, etc.

2. Objectif :

L'objectif de cette étude se focalise sur la question de recherche principale suivante : Quelle est la réaction toxique de la laine minérale lors de l'exposition ?

3. Enquête-échantillon :

Une enquête-échantillon a été effectuée au sein du complexe de liquéfaction du gaz pétrolier d'Arzew « GP1Z » filiale du groupe SONATRACH où le nombre des salariés exposés régulièrement à la laine minérale est de 45 employés. Leur travail consiste essentiellement à mettre en place et enlever les isolants thermiques.

Dans cette étude, nous avons procédé dans un premier temps à établir un questionnaire sur les symptômes susceptible d'être provoqués par les laines minérales en fonction de plusieurs facteurs (voir annexe 3). Puis nous avons recueilli des données auprès de 12 personnes qui représentent le quart de l'ensemble des employés de cette filiale, plus précisément 26.6%. Les résultats obtenus à partir de ce questionnaire sont comme suit :

Tableau 4.1 : Questionnaire sur les symptômes liés à la laine minérale en fonction de plusieurs facteurs

Age	60		52		51		46		44		44		41		38		38		35		31		25	
Poste (expérience ¹)	Technicien (2007)		Monteur (1995)		Monteur (2012)		Monteur (2000)		Technicien (2004)		Technicien (2011)		Monteur (2010)		Monteur (2008)		Monteur (2011)		Monteur (2017)		Monteur (2012)		Monteur (2016)	
Estimation d'expo/j	3 heures		6 heures		5 heures		5 heures		5 heures		4 heures		6 heures		5 heures		5 heures		5 heures		5 heures		5 heures	
symptômes	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
inflammation de la gorge		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Douleur à la déglutition		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Rougeurs		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
démangeaisons		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
irritations		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Obstruction nasale		X		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Toux		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Eternuements intenses		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Respiration difficile		X		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Paupière rouge ou gonflée		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Sensation de gêne à l'œil		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Vision brouillé		X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	

¹ L'année d'intégration dans ce poste

4. Discussion des résultats :

Question N°1 : souffriez-vous d'une inflammation de la gorge ?

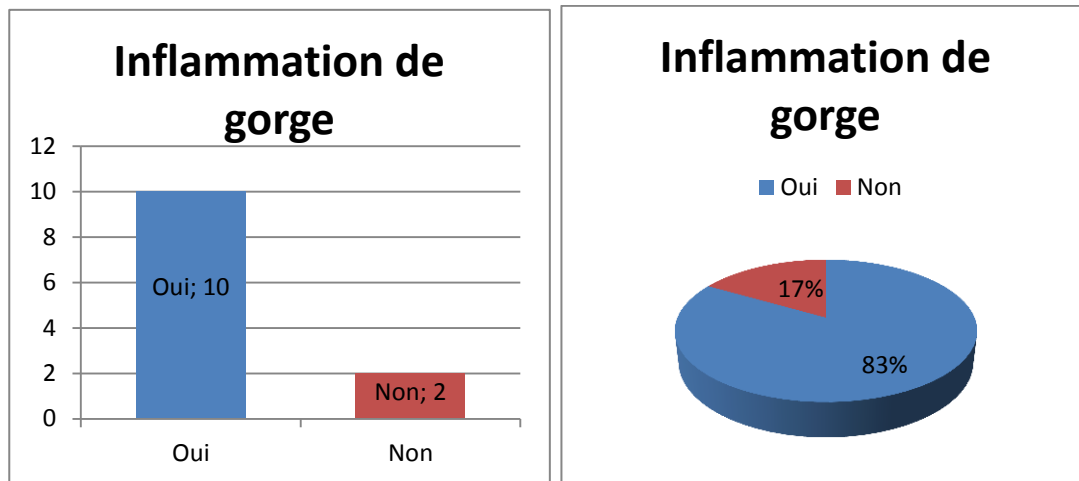


Figure 4.2: représentation graphique des résultats de la question °1

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant d'une inflammation de la gorge, dont 10 employés ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 83% du nombre totale.

Question N°2 : souffriez-vous d'une douleur à la déglutition ?

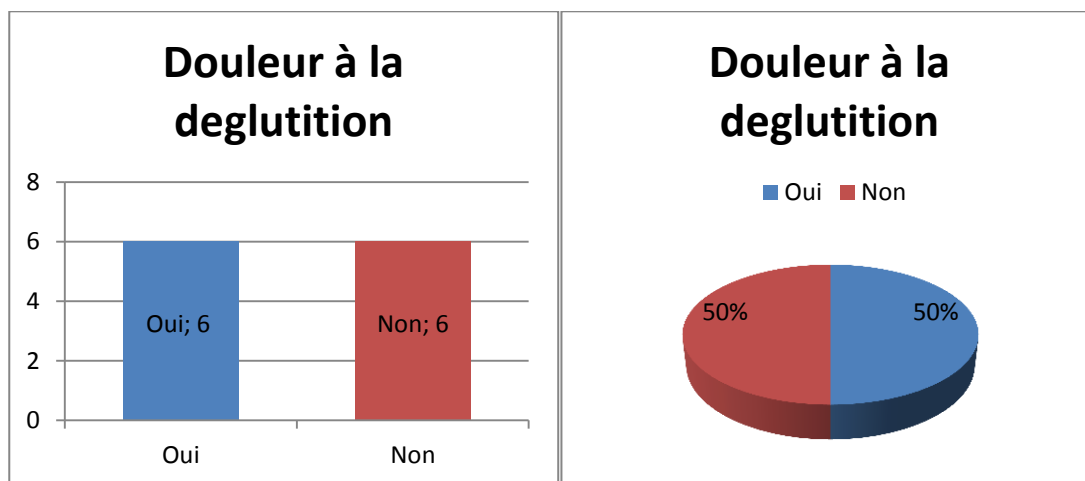


Figure 4.3: représentation graphique des résultats de la question °2

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant d'une douleur à la déglutition, dont 6 parmi eux ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 50% du nombre totale.

Question N°3 : souffriez-vous des rougeurs de la peau ?

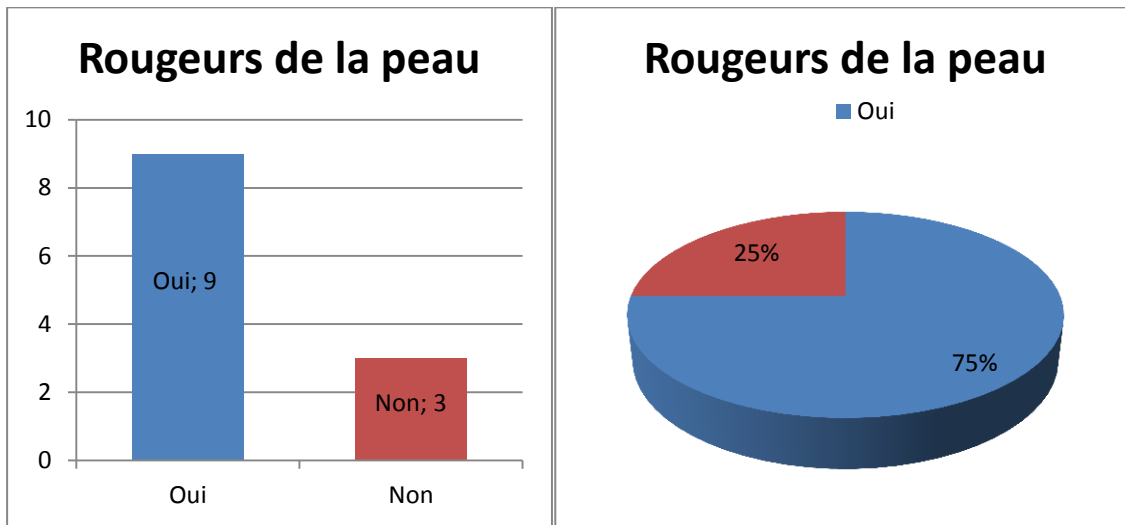


Figure 4.4:representation graphique des résultats de la question °3

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant des rougeurs de la peau, dont 9 parmi eux ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 75% du nombre totale.

Question N°4 : souffriez vous des démangeaisons ?

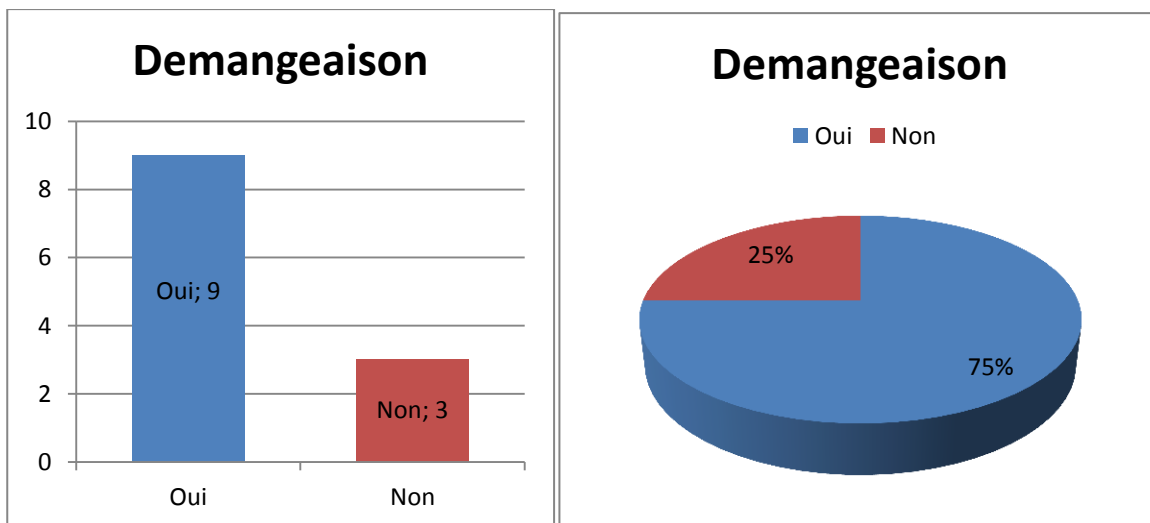


Figure 4.5: représentation graphique des résultats de la question °4

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant des démangeaisons, dont 9 parmi eux ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 75% du nombre totale.

Question N°5 : souffriez-vous des irritations de la peau ?

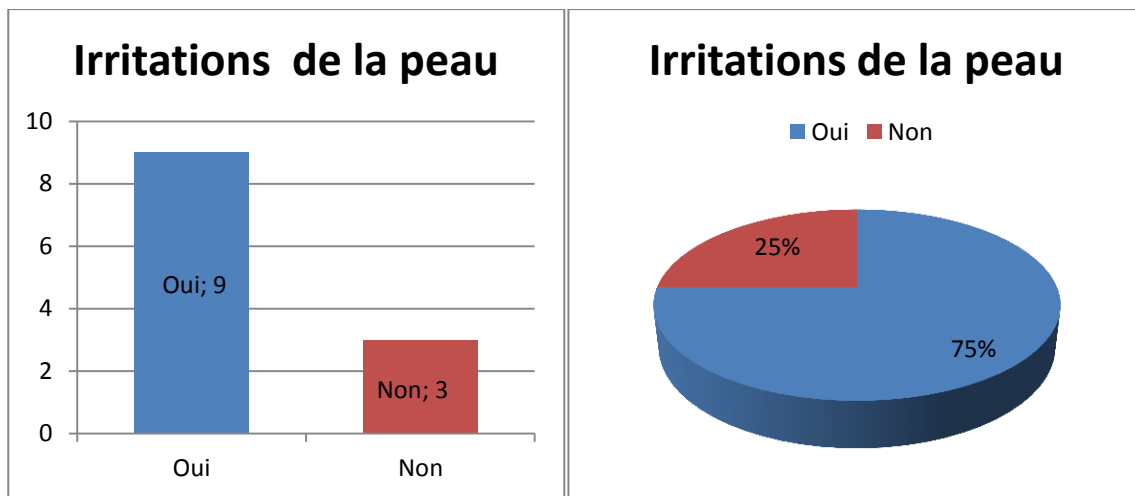


Figure 4.3: représentation graphique des résultats de la question °5

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant es irritations de la peau, dont 9 personne ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 75% du nombre totale.

Question N°6 : souffriez-vous des obstructions nasale ?

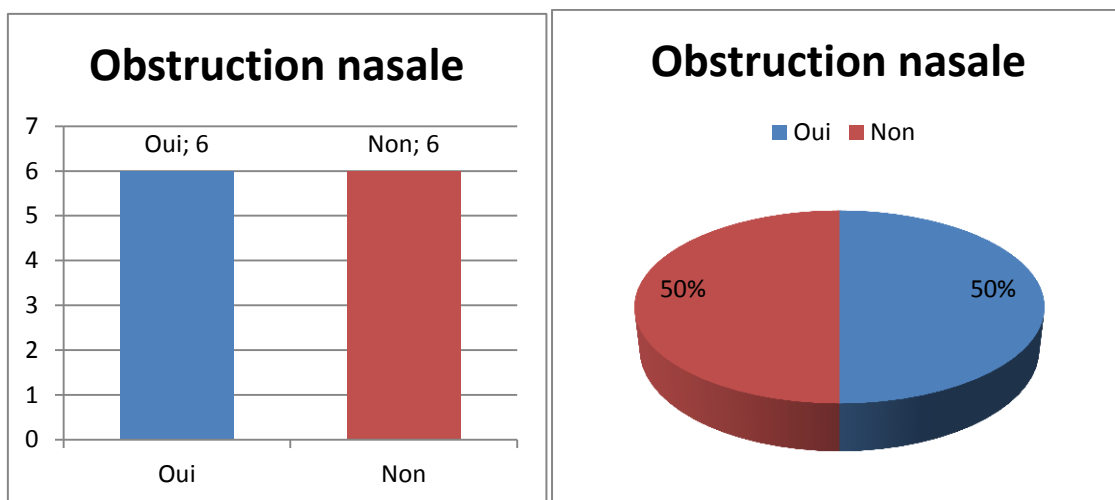


Figure 4.4: représentation graphique des résultats de la question °6

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés a la laine minérale et souffrant d'une obstruction nasale dont 6 parmi eux ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 50% du nombre totale.

Question N°7 : souffriez-vous d'une toux ?

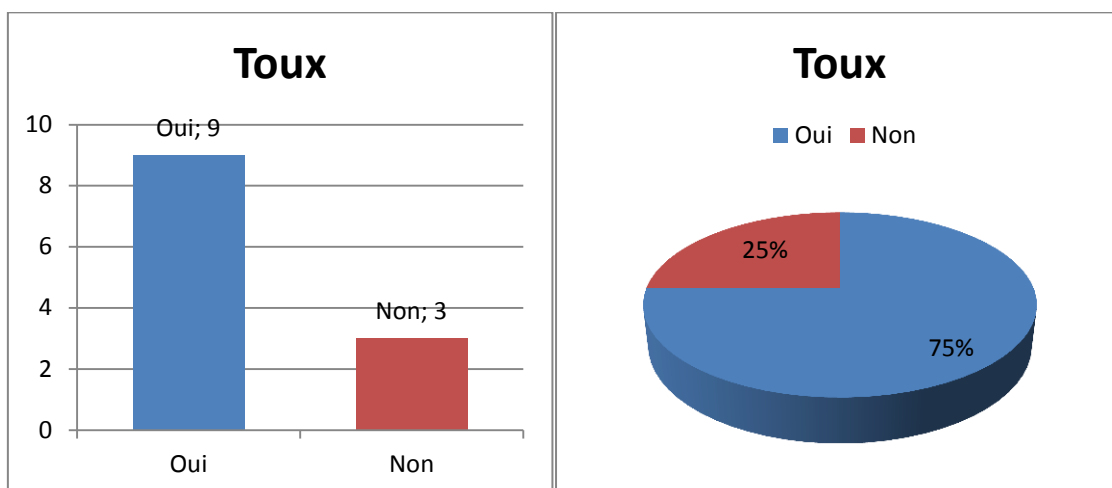


Figure 4.5: représentation graphique des résultats de la question °7

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant d'une toux dont 9 ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 75% du nombre totale.

Question N°8 : souffriez-vous d'éternuement intense ?

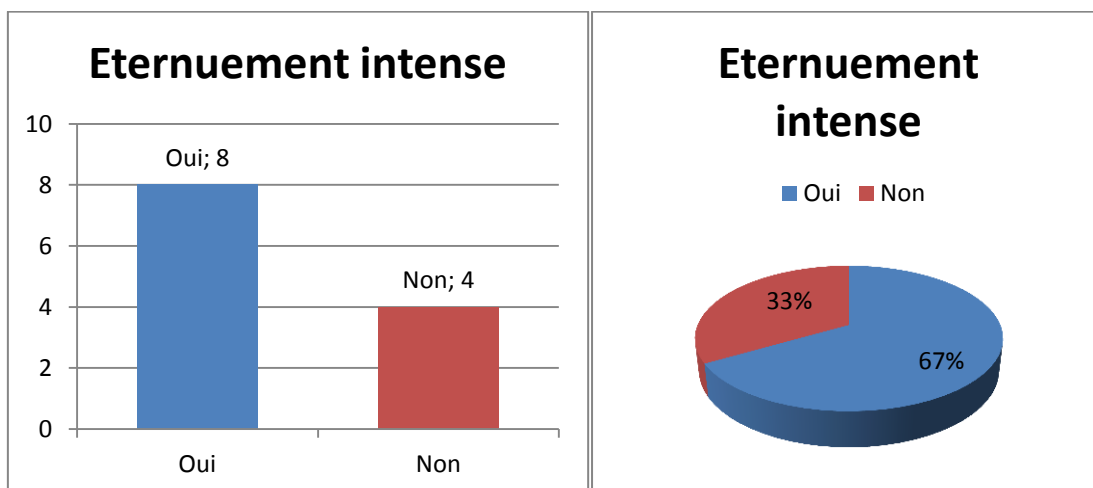


Figure 4.6: représentation graphique des résultats de la question °8

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant d'éternuement intense dont 8 parmi eux ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 66.66% du nombre totale.

Question N°9 : souffriez-vous des respirations difficile ?

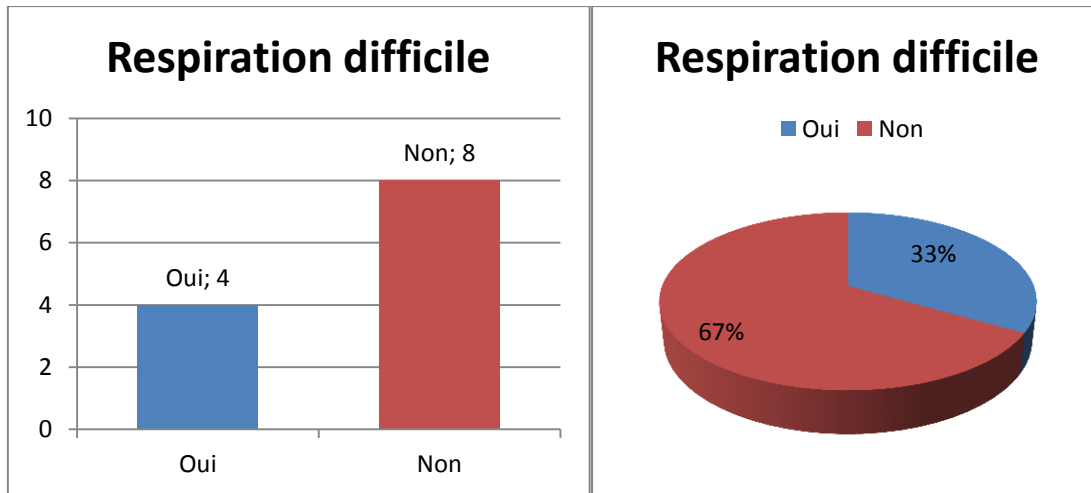


Figure 4.7: représentation graphique des résultats de la question °9

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant d'une respiration difficile dont 4 parmi eux ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 33.33% du nombre totale.

Question N°10 : souffriez-vous des paupières rouge ou gonflée ?

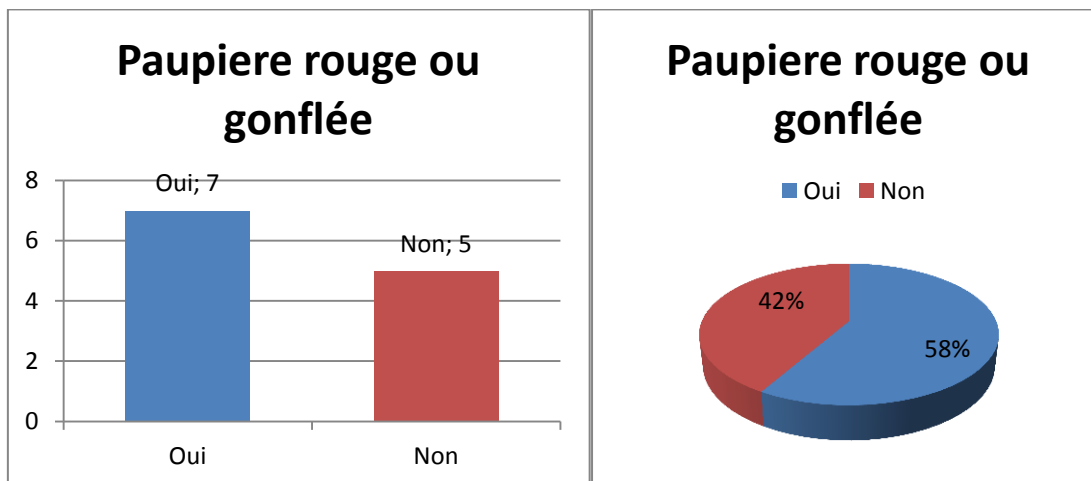


Figure 4.8:représentation graphique des résultats de la question °10

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant d'une paupière gonflée et rouge dont 7 ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 58.33% du nombre totale.

Question N°11 : Sentez-vous de gêne à l'œil ?

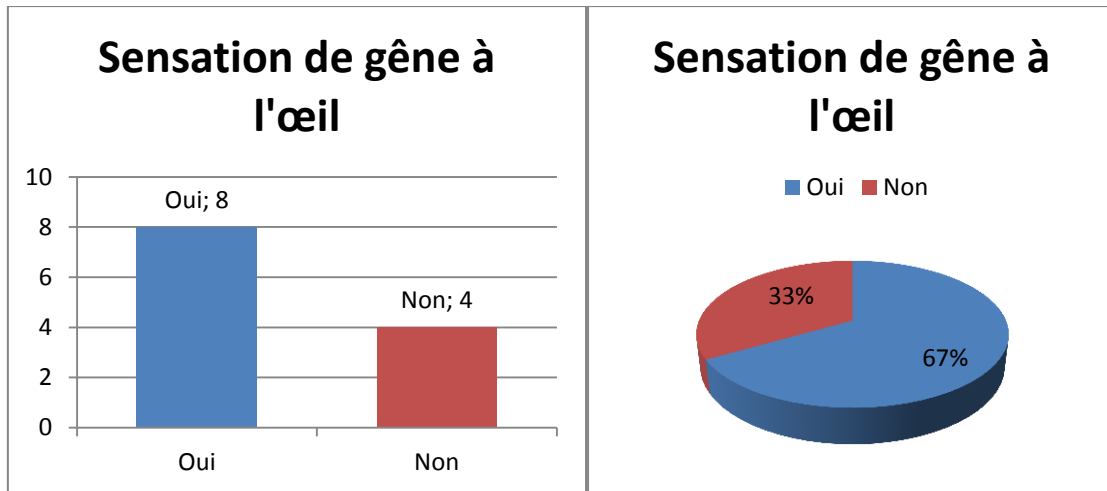


Figure 4.9: représentation graphique des résultats de la question °11

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et sentent une gêne à l'œil dont 8 parmi eux ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 66.66% du nombre totale.

Question N°12 : Avez-vous une vision brouillée ?

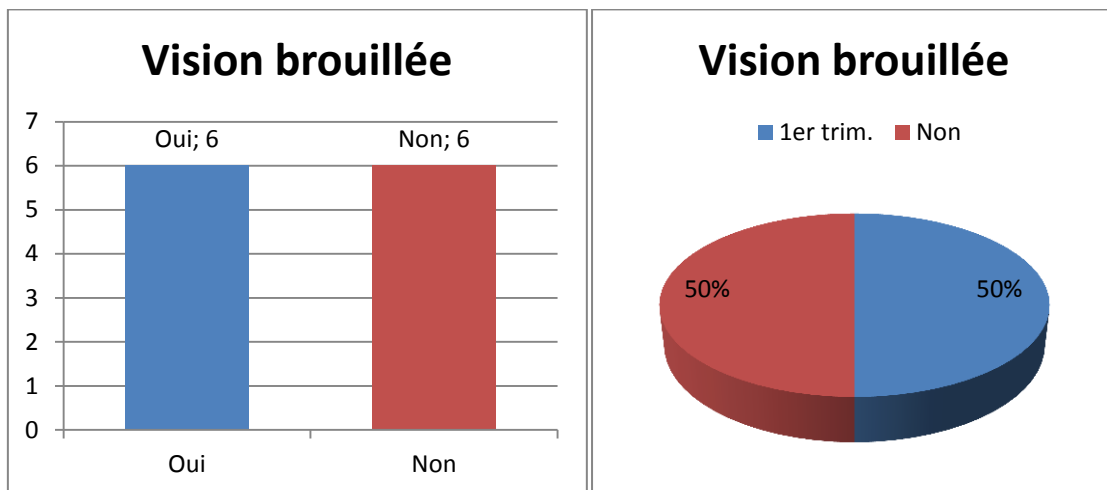


Figure 4.10: représentation graphique des résultats de la question °12

- Le graphe représente le nombre de salariés exposés à la laine minérale et souffrant d'une vision brouillée dont 6 parmi eux ont confirmé la présence de ce symptôme ce qui fait 50% du nombre totale.

5. Schéma Recapulatif :

Tous les résultats du questionnaire ont été assemblés dans le graphe suivant :

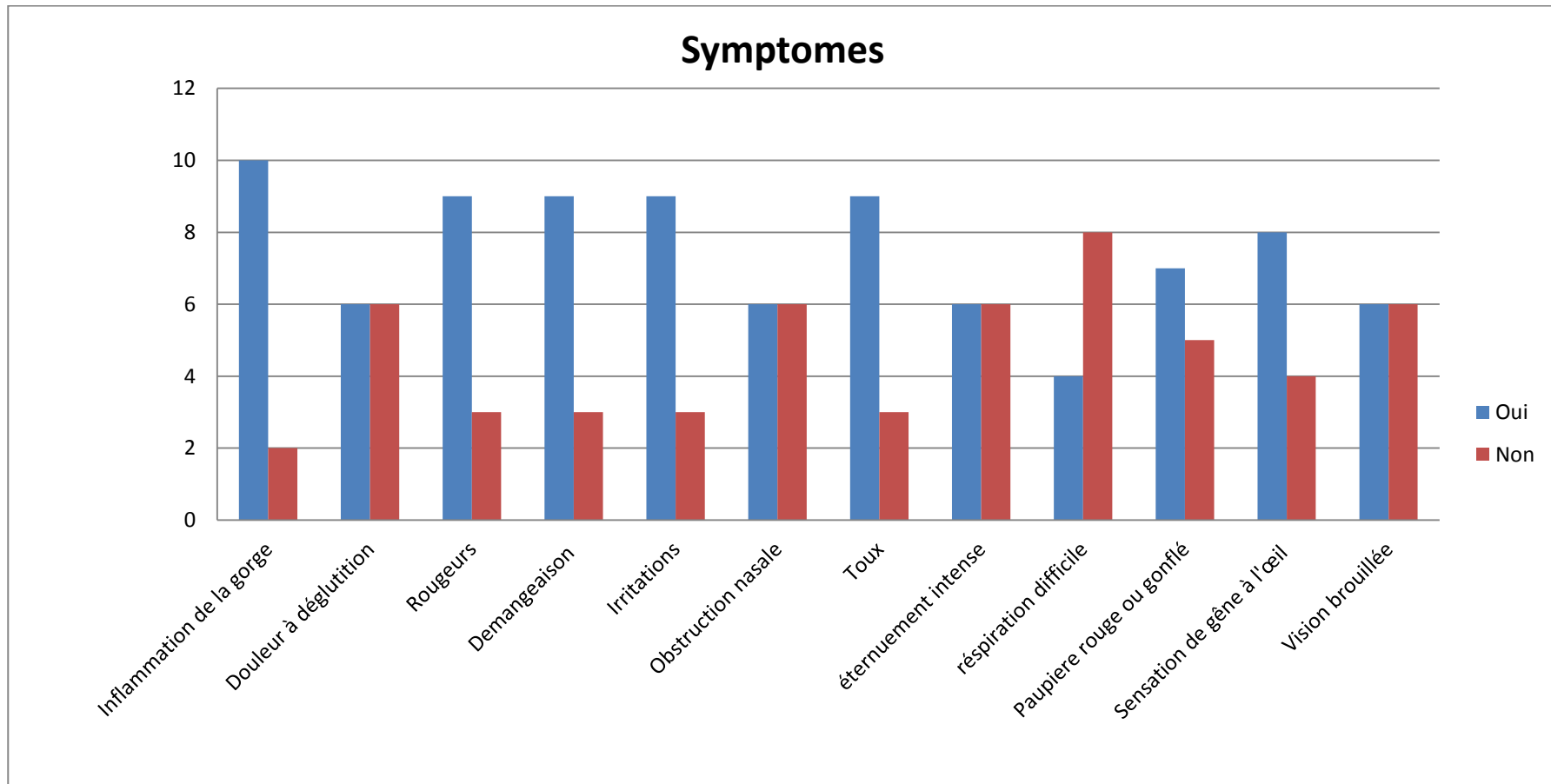


Figure 4.11: schéma Recapulatif des symptômes

6. Diagnostique :

Après avoir récolté ces résultats, nous avons eu un entretien avec le médecin de travail de cette filiale afin de discuter les résultats et de connaître les différents effets en relation avec les symptômes décrits sur le questionnaire, la durée de l'exposition et la tranche d'âge des employés pris dans cette enquête-échantillon. De ce fait, nous avons pu réaliser les diagnostics suivants :

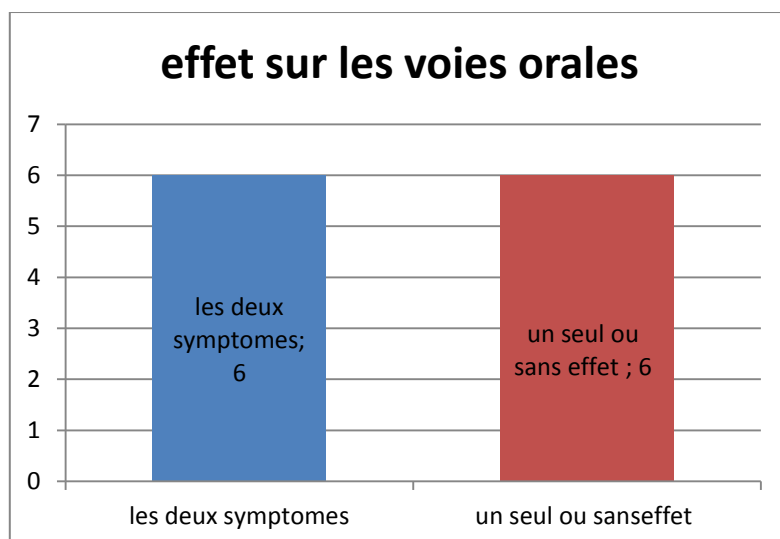


Figure 4.12: représentation graphique des effets sur les voies orales

- L'inflammation de la gorge et les douleurs à la déglutition qui correspond à la *symptomatologie d'une rhinite*, sur cela on constate que 6 personnes parmi les salariés souffrent des deux symptômes en même temps.

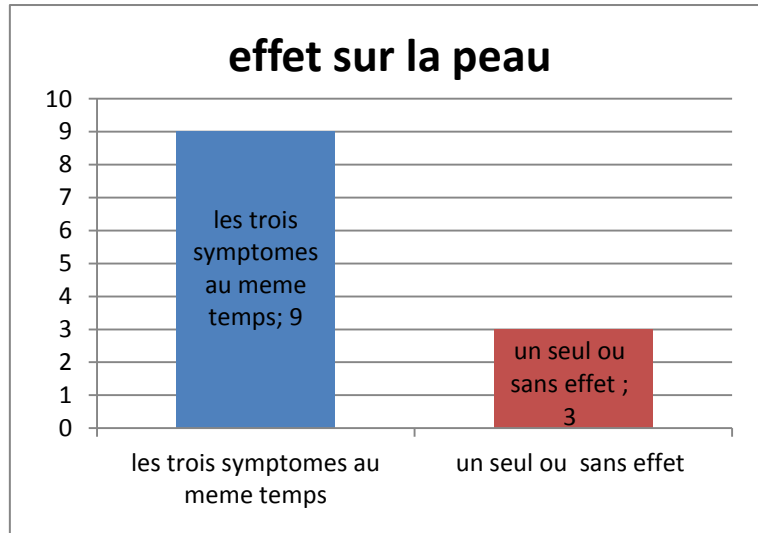


Figure 4.13: représentation graphique des effets sur les voies cutanées

- Les rougeurs de la peau et les démangeaisons et l'irritation sont les symptômes d'un *prurit cutané* ou une *dermite* et que 9 salariés sur les 12 présentent les 3 symptômes en même temps.

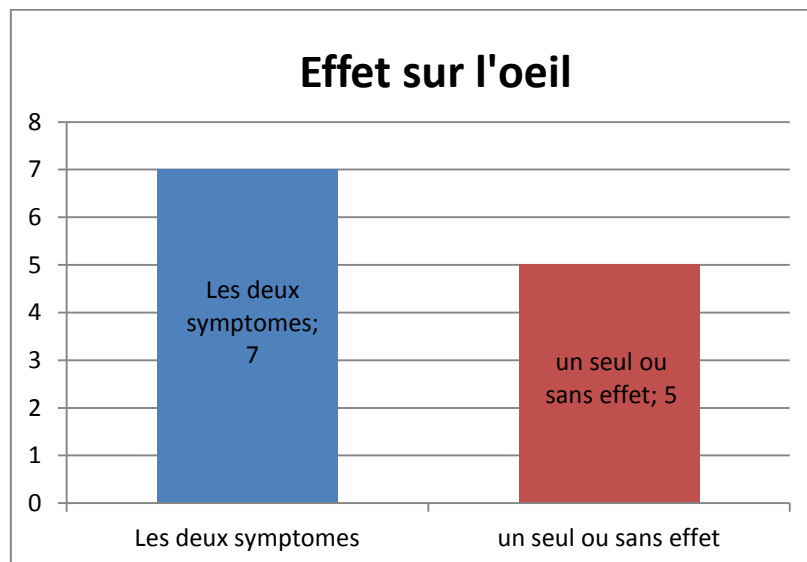


Figure 4.14: représentation graphique des effets sur les voies oculaires

- L'œil gonflée ou rouge, les sensations de gêne à l'œil et la vision brouillée sont les symptômes d'une irritation oculaire qui provoque une *uveite anterieure*, et qu'on constate que 7 personnes parmi les salariés souffrent des deux symptômes en même temps.

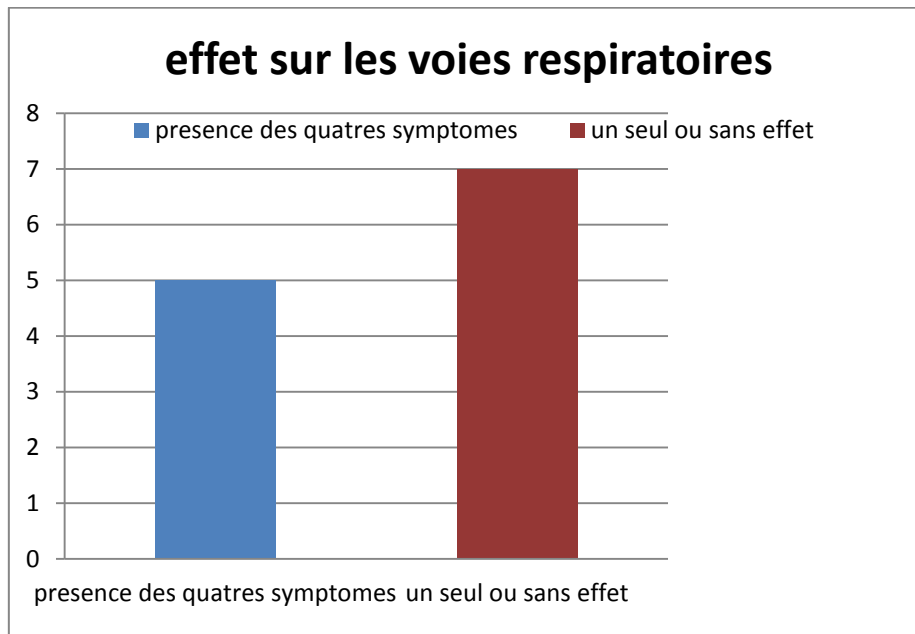


Figure 4.15: représentation graphique des effets sur les voies respiratoires

- Une toux, éternuement intense, obstruction nasale et la respiration difficile sont des symptômes qui résultent *d'une pneumopathie aigue* due à l'exposition ou bien un asthme induits par les irritants qui peuvent faire succéder *une fibrose pulmonaire* de cause toxique, sur cela on constate que 5 salariés sur les 12 présentent les 4 symptômes en même temps.

Il n'y a pas de seuil de toxicité nocive car elle dépend de la capacité précaire de l'employé, le respect des mesures préventives et des conditions de vie personnelle. Tous ces facteurs perturbent les résultats. Malheureusement ceci est la cause pour laquelle les entreprises échappent pour ne pas prendre en charge les maladies, ils ne relient pas l'effet avec la cause mais en réalité il y a cause et effet quel que soit faible ou forte.

7. Recommandations :

L'exposition prolongée à la laine minérale d'isolation a démontré qu'elle peut être la cause de plusieurs maladies auquel il n'y a pas de thérapie si ce n'est pas d'arrêter le travail. Dans l'impossibilité la solution générale serait :

- mettre en place une réglementation qui obligent l'employeur a contrôlé périodiquement les valeurs d'expositions et même favoriser la substitution des laines minérales et les remplacer par d'autres isolants moins dangereux.

7.1.La prévention technique collective :

- ✓ Limiter au strict minimum le nombre de travailleurs soumis au risque en restreignant l'accès des zones où se déroulent les activités et limiter la durée de travail de ces personnes dans les zones à risque (zones de découpe et d'usinage des fibres...). En particulier, coordonner l'intervention des différents corps de métiers pour éviter leur présence simultanée sur le site, de façon à limiter le nombre de personnes susceptibles d'être exposées.
- ✓ Délimiter les zones d'utilisation à risque et les isoler et les calfeutrer le plus possible pour ne pas disperser les fibres et apposer une signalisation claire d'avertissement et de sécurité.
- ✓ Limiter les quantités de fibres (stockage, déchets) sur le lieu de travail. Les produits doivent être stockés dans leur emballage et déballés au dernier moment et au plus près du lieu d'utilisation.
- ✓ Prédécouper les pièces en atelier bien équipé (table aspirante ...) et ventilé, plutôt qu'effectuer les découpes sur place dans de mauvaises conditions.



Nettoyer avec un aspirateur ou humidifier en vaporisant de l'eau avant de balayer



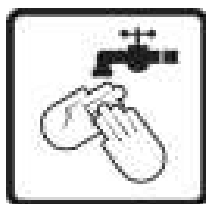
- **L**
a

Ventiler le lieu de travail si possible

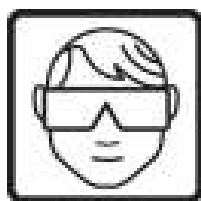
7.2. La prévention technique individuelle :



Couvrir les parties du corps exposées. Dans un endroit non ventilé, porter un masque jetable : Lors de travaux dans un local non ventilé ou lors d'opérations susceptibles de générer une émission de poussière de toute nature, porter un masque anti poussière jetable. Le type conforme à la norme EN 149 FFP1 est recommandé
Afin d'éviter une irritation, porter des gants conformes à la norme EN 388



Se rincer à l'eau froide avant de se laver



En cas de travail au-dessus de la tête, porter des lunettes de protection ; Des lunettes de protection conformes à la norme EN 166 sont recommandées

7.3. La formation à la sécurité

L'information et la formation des salariés sur les risques et les techniques sécuritaires (bonnes pratiques de nettoyage et de gestion des déchets, utilisation des appareils de protection respiratoire et autres EPI...) est absolument nécessaire pour diminuer de façon pérenne le niveau de criticité du travail exposant aux fibres.

7.4. La surveillance médico-professionnelle

L'exposition aux fibres impose une surveillance périodique des travailleurs au moins une fois par an, instaurée par le médecin du travail, avec un suivi médical approprié. Chaque salarié exposé à des fibres doit faire l'objet d'une fiche d'exposition établie par l'employeur et bénéficier d'une surveillance médicale renforcée. A sa sortie de l'entreprise, il doit recevoir une attestation d'exposition qui lui permettra de continuer à se faire suivre médicalement.

7.5. La gestion des déchets :

Les débris de fabrication, les déchets sont des sources d'exposition. Réaliser correctement la collecte, le stockage et l'évacuation des déchets est un impératif de sécurité. Manipuler et enlever les vieux produits ou les déchets nécessitent d'utiliser des poubelles ou des conteneurs d'élimination fermés puis acheminés vers une installation de stockage autorisée avec un bordereau de suivi : récipients hermétiques étiquetés de manière claire, nette et visible, sacs à déchets en matière plastique, étanches, à double enveloppe.



Respecter la réglementation sur les déchets

Conclusion Générale

Conclusion générale :

A travers notre stage au sein du complexe « GP1Z» nous avons découvert le milieu professionnel et industriel ainsi la vie quotidienne dans l'entreprise qui nous a permis de voir les démarches suivies en cas d'exposition aux laines minérales.

En ce qui concerne notre étude, nous avons tenu à respecter, par honnêteté intellectuelle, les résultats recueillis à l'issue de l'enquête, même si ces résultats sont manifestement « atypiques » et ne permettent pas de consacrer la corrélation à laquelle on devrait à l'évidence s'attendre ; puisque le constat est assez surprenant, dans la mesure où les fabricants des laines minérales assure que le produit est inerte et ne présente pas d'effet sur la santé, et que les résultats répondent au contraire.

Notre travail a donc permis d'aboutir aux résultats suivants :

- Etablir un questionnaire des effets de la laine de verre sur la santé des travailleurs qui peut jouer un rôle très important dans la gestion des maladies professionnelles au sein de l'entreprise c'est ce qui a été notre idée principale pour la motivation et la réalisation de ce travail.
- Evaluer la performance de l'entreprise à partir des résultats du questionnaire et ça nous a permis de constater que :
 - il y a une défaillance dans le respect des consignes de sécurité
 - La majorité du personnel qui a répondu à notre questionnaire ont déjà été affectés par les différents symptômes

Pour conclure, La protection de la santé des travailleurs contre les risques dus à l'exposition aux laines minérales dans les postes de travail et la prévention de la contamination du milieu de travail devraient être le fait de tous ceux qui participent à la conception, à l'organisation et à l'exécution du travail et de tous ceux qui sont intéressés à la protection de la santé des travailleurs.

Sans oublier le principe de **PARACELSE** (XVI^e siècle) « Solo dose fecit venenum », largement repris depuis comme une base de la toxicologie moderne dans les termes suivants :

«Tout est toxique, rien n'est toxique ; c'est la dose qui fait le toxique »

Bibliographie

Bibliographie

- (s.d.). Récupéré sur wikipedia: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Toxicit%C3%A9>
- Doctissimo*. (2018, novembre 19). Récupéré sur doctissimo.fr
- Amiard, J.-C. (2011). *Les risques chimiques environnementaux : Méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes*.
- Andréjak, C. (2015). *Le microbiologie pulmonaire*. Récupéré sur <https://www.medecinesciences.org/fr/articles/medsci/abs/2015/12/medsci20153111p971/medsci20153111p971.html>
- BARBAULT. (1993).
- Batiactu. (2017, 10 10). *Isoler les tuyauterie : pourquoi et comment ?* Consulté le 04 07, 2021, sur <https://reseau.batiactu.com/guides-conseils/isoler-les-tuyauterie-pourquoi-et-comment-g51>
- Bayer. (2019, 03 07). *SNPU*. Consulté le 05 07, 2021, sur <https://snpu.fr/quest-ce-que-le-polyurethane-ou-une-mousse-pu/>
- Bensakhria, A. (2018). Toxicité aigue. Dans *Toxicologie générale* (pp. 21-28). Murcia.
- Canorel, F. (2010, Avril). initiation a la toxicologie.
- CNTRL. (2012). *centre national des ressources textuelles et lexicales*. Récupéré sur <https://www.cnrtl.fr/>
- Corniou, M. (2013, 12). *passport santé*. Récupéré sur <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=avortement#:~:text=Par%20d%C3%A9finition%2C%20il%20s'agit,%C2%AB%20mort%20f%C5%93tale%20in%20utero%20%C2%BB>.
- Ducamp. (2012). *Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux fibres minérales*. Consulté le 06 22, 2021, sur <http://www.invs.sante.fr/>
- Dumas, L. (2004). *Evaluation des risques toxiques professionnels*.
- FUTURA SANTE*. (s.d.).
- G.Watanabe, P. (s.d.). *les mécanisme de la toxicité*.
- Guichon. (s.d.). Consulté le 05 11, 2021
- Guimon, M. (2013, septembre). Les laines minérales d'isolation. paris: INRS.
- Holmberg, B. (s.d.). *Les principes généraux de la toxicologie*.
- Huff, J., & M, D. (s.d.).
- insulation, R. t. (2009). *Manuel d'isolation industrielle*. Consulté le 06 21, 2021, sur <http://przewodnik-produktow.rockwool-rti.pl/media/515671/rti%20proces%20manual%20franse%20versie.pdf>

isolation, E. (2016, 04 14). *ECONOMIES D'ÉNERGIE DANS L'INDUSTRIE*. Consulté le 06 21, 2021, sur http://www.pirotech.be/wp-content/uploads/2016/05/P23_EUROISOLATION_Calorifugeage_20160414.pdf

Johanson, G. (s.d.). *Les principes généraux de la toxicologie*.

Lacarelle. (2007). *Toxicologie*.

Lapointe, G. (2004). *Notions de toxicologie*. CSST.

Lauwers. (2007). *UVED*. Récupéré sur http://uved.univ-nantes.fr/GRCPB/sequence3/html/chap1_part4_1.html

Le figaro. (s.d.). Consulté le 06 07, 2021, sur Santé le figaro: <https://sante.lefigaro.fr/sante/organe/oeil/quest-ce-que-cest>

Malard, S. (2018). *méthodes d'évaluation de la toxicité*. paris.

Mayer, N. (2017, 03 26). *futura sciences*. Consulté le 04 08, 2021, sur <https://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/isolation-laine-verre-elle-recyclable-recyclee-7415/>

NicoLescours. (2014, 12 05). *agoravox*. Consulté le 07 04, 2021, sur <https://www.agoravox.fr/actualites/sante/article/quels-enjeux-sanitaires-concernant-160355>

PETIT, D. (2010). *Calorifugeage - Isolation thermique des équipements*. Saint-denis.

Protecor. (2019). Consulté le 04 08, 2021, sur <https://www.protecormaroc.com/polyurethane.php>

sylvain. (2011). *Conseil thermique*. Consulté le 04 08, 2021, sur <https://conseils-thermiques.org/contenu/polyurethane.php>

Viala, A. (2007). *Toxicologie*. LA VOISIER.

ANNEXES

Annexe(1) : l'explication des phases de risques :

(1) préparations autres que gazeuses

(2) préparations gazeuses

R40 : effet cancérogène suspecté - preuves insuffisantes.

R45 : peut causer le cancer.

R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires.

R49 : peut causer le cancer par inhalation.

R60 : peut altérer la fertilité.

R61 : risque pendant la grossesse d'effets néfastes sur l'enfant.

R62 : risque possible d'altération de la fertilité.

R63 : risque possible pendant la grossesse d'effets néfastes sur l'enfant.

R64 : risque possible pour les bébés nourris au lait maternel.

R68 : possibilités d'effets irréversibles.

Annexe N°2 : Classement des produits pour murs, plafonds et autres surfaces selon NF EN 13501-1

Classement EUROCLASSES selon NF EN 13501-1			Exigences réglementaires françaises
Comportement au feu	Production de fumée	Gouttelettes enflammées	
A1	-	-	Incombustible
A2	S1	D0	M0
A2	S1	D1	M1
A2	S2 S3	D0 D1	
B	S1 S2 S3	D0 D1	
C	S1 S2 S3	D0 D1	M2
D	S1 S2 S3	D0 D1	M3
			M4 (non gouttant)
E	Non applicable	D1	M4
E	Non applicable	D2	Pas de classement
F	Non applicable	Non applicable	Pas de classement

ANNEXE N°03 : FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ

1. IDENTIFICATION DU PRODUIT ET DE L'ENTREPRISE

Nom générique du produit : **MECAWOOL**
Usage recommandé : Isolation thermique des combles
Producteur : ISO2 INDUSTRIE BVBA
Pitantiestraat 121
8792 DESSELGEM - WAREGEM -BELGIQUE
Tél. +32(0)56720792
Fax +32(0)56707339

2. IDENTIFICATION DES DANGERS

Dangers majeurs : Il n'existe aucune mention de danger associée à ce produit.
Dangers spécifiques : Non applicable

3. COMPOSITION / INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS

Substance	Numéro d'enregistrement	Quantité poids (%)	Classification et étiquetage (CE n° 1272/2008)	Classification et étiquetage (67/548/EEC)
Laine minérale ⁽¹⁾	65997-17-3	90 – 100%	Non classée	Non classée
Agent liant		0 – 10%	Non classé	Non classé

Composition	
SiO ₂ (silicate)	57-70
Al ₂ O ₃	0-5
FeO ₃	<0,5
B ₂ O ₃	0-12
Oxydes alcalins	12-18
Oxyde alcalino-terreux	8-15

4. MESURES DE PREMIERS SECOURS

Informations selon les différentes voies d'exposition :

Inhalation : Se retirer de la zone d'exposition. Se rincer la gorge et se moucher pour éliminer la poussière.

Contact avec la peau : Si une irritation mécanique apparaît, retirer les vêtements contaminés et laver la peau délicatement avec de l'eau froide et du savon.

Contact avec les yeux : Rincer abondamment à l'eau pendant 15 minutes minimum.

Ingestion : En cas d'ingestion accidentelle, boire beaucoup d'eau.

En cas de tout effet indésirable ou inconfort persistant suite à l'une des voies d'exposition ci-dessus, consultez un professionnel de la santé.

5. MESURES DE LUTTE CONTRE LES INCENDIES

Moyens d'extinction appropriés : L'utilisation des produits ne présente pas de risque d'incendie.

Toutefois certains matériaux ou revêtements d'emballage peuvent être combustibles.

Moyens d'extinction appropriés : eau, mousse, dioxyde de carbone et poudre sèche.

En cas d'incendie important dans des zones peu ventilées ou impliquant des matériaux d'emballage, des équipements de protection respiratoire peuvent être nécessaires.

Produits de combustion du produit et de l'emballage : dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et traces de gaz comme l'ammoniac, les oxydes d'azote et des substances volatiles organiques.

6. MESURES À PRENDRE EN CAS DE REJET ACCIDENTEL

Précautions individuelles : En cas de présence d'une forte concentration de poussière, utiliser le même équipement de protection individuelle que celui mentionné à la section 8.

Protection environnementale : Non concerné

Méthodes de nettoyage : Passer l'aspirateur ou humidifier avec de l'eau vaporisée avant de balayer.

7. MANIPULATION ET STOCKAGE

Manipulation

Mesures techniques : Aucune mesure spécifique. Pour la découpe, utiliser de préférence un couteau, plutôt qu'une scie. En cas d'utilisation d'un outil à moteur, il doit y avoir une aspiration d'air suffisante.

Précautions : Veiller à la ventilation suffisante du lieu de travail. Voir section 8.

Conseil de manipulation sûre : Éviter les manipulations inutiles du produit déballé. Voir section 8.

Stockage

Mesures techniques : Aucune mesure spécifique, les produits palettisés doivent être stockés conformément à l'évaluation spécifique des risques liés au site.

Conditions de stockage appropriées : Stocker les produits retirés de la palette et des emballages ou le produit non palettisé en vrac dans un lieu sec.

Matières incompatibles : Aucune

Matériaux d'emballage : Livré emballé dans un film de polyéthylène ou dans un carton sur palette en bois.

8. CONTRÔLES DE L'EXPOSITION / PROTECTION INDIVIDUELLE

Valeur limite d'exposition : Aucune au niveau européen.

Contrôles de l'exposition : Aucune exigence spécifique.

Équipement de protection individuelle

Protection respiratoire : Lors de travaux dans des zones non ventilées ou durant des opérations pouvant produire des émissions de poussière, le port d'un masque de protection de type FFP2, conforme à la norme EN 149, est nécessaire.

Protection des mains : Port de gants de protection conformes à la norme EN 388.

Protection des yeux : Port de lunettes de protection pour tout travail en hauteur. Une protection des yeux selon la norme EN 166 est conseillée.

Protection de la peau : Couvrir la peau exposée

9. STABILITÉ ET RÉACTIVITÉ

Stabilité : Stabilité des caractéristiques initiales jusqu'à 250°C
Réactions dangereuses : Non concerné
Produits de décomposition dangereux : Non concerné

10. INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES

Effets aigus : L'effet mécanique des fibres en contact avec la peau peut causer des démangeaisons temporaires.

11. INFORMATIONS ÉCOLOGIQUES

Dans des conditions normales d'utilisation, ce produit ne devrait nuire ni aux animaux, ni aux plantes.

12. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'ÉLIMINATION

Déchets de résidus : À éliminer conformément aux réglementations et procédures en vigueur dans le pays d'utilisation ou d'élimination.
Emballage souillé : À éliminer conformément aux réglementations locales.
Code du catalogue européen des déchets : 17 0604

13. INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT

Règlement intérieur : Aucune réglementation spécifique

14. INFORMATIONS RÉGLEMENTAIRES

La directive européenne n°97/69/CE, remplacée par le règlement (CE) n°1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges ne classe pas les fibres de verre comme dangereuses lorsque celles-ci sont conformes à la note Q de ce règlement.

La note Q précise que la classification cancérogène ne s'applique pas si :

- Un essai de biopersistance à court terme par inhalation a montré que les fibres d'une longueur supérieure à 20 µm ont une demi-vie pondérée inférieure à 10 jours, ou
- Un essai de biopersistance à court terme par instillation intratrachéale a montré que les fibres d'une longueur supérieure à 20 µm ont une demi-vie pondérée inférieure à 40 jours, ou
- Un essai intrapéritonéal approprié n'a révélé aucun signe d'un excès de cancérogénicité, ou
- Un essai approprié à long terme par inhalation a révélé une absence d'effets pathogènes significatifs ou de modifications néoplastiques.

Annexe 4:

Questionnaire : sur les effets susceptibles provoqués par les laines minérales

Témoïn N° :

Age :

Titre Professionnel :

Expérience dans ce poste(Année) :

Estimation de l'exposition journalière (heures) :

Symptômes :

OUI

NON

- Inflammation de la gorge :

- Douleur à la déglutition :

- Rougeurs :

- Démangeaison :

- Irritations :

- Obstruction nasale :

- Toux :

- Eternuements intenses :

- Respiration difficile :

- Paupière rouge ou gonflée :

- Sensation de gêne à l'œil :

- Vision brouillée :