



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 والأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

CONTROLE DE FUMEE ET DE FEU DANS LES
ESPACES CONFINES

Présenté par :

Djamaa Oussama et Kouider Benhamed Mohamed Bahaa Eddine

Devant le jury composé de :

| Nom et Prénom | Grade | Etablissement | Qualité |
|---------------------|-------|-------------------|-------------|
| AOUMER NABILA | MCB | Université Oran 2 | Président |
| TALBI ZAHERA | MCB | Université Oran 2 | Encadreur |
| NADJI AMINE MOHAMED | MCB | Université Oran 2 | Examinateur |

Année 2021/2022

REMERCIEMENTS

*Au terme de ce modeste travail, je loue et je remercie DIEU LE TOUT PUISSANT qui m'a donné force et patience. Je tiens à remercier ma famille qui m'a gratifié de son soutien indéfectible des années et sans son appuie ce travail n'aurait pas vu le jour. Je tiens à remercier mon encadreur **Dr. TALBI ZAHERA** qui a fait preuve de rigueur et de professionnalisme. Sans ses pertinentes recommandations, le travail n'aurait pas pris sa définitive forme. Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance envers les membres du jury, le président **AOUMER NABILA** ainsi que l'examineur **Dr. NADJI AMINE MOHAMED** qui, par leurs remarques et la complémentarité de leurs jugements, me donne encore confiance et intérêt pour apprendre toujours et de l'honneur qu'ils me font en jugeant mon travail,. Je remercie également celles et ceux qui m'ont appris "les vraies valeurs en amitié ". Ces personnes ont largement participé à enrichir mes connaissances sur le plan personnel.*

Nous remercions le bon dieu de nous avoirs donnés le courage d'accomplir ce
travail.

Tout d'abord nous dédions ce modeste travail :

A nos très chers parents, A nos frères, A nos sœurs, A nos cousins & Cousinses, A
nos amis Mohamed , Chouib et Yacine

Résumé :

Les fumés dans les endroits confinés plus dangereuse pour l'être humain. Et l'intervention idéale est trop difficile et chère à cause de pas males les obstacles comme la vision et de respiration. C'est pourquoi vous devez suivre les solutions préventives pour réduire leurs risques. Parmi ces solutions, les systèmes des détections de fume de feu et le désenfumage.

ملخص

الأدخنة في الأماكن المحصورة أكثر خطورة على الإنسان. والتدخل المثالي صعب للغاية ومكلف بسبب العديد من العقبات مثل الرؤية والتنفس , لهذا السبب يجب اتباع الحلول الوقائية لتقليل مخاطرها. من بين هذه الحلول ، أنظمة الكشف عن دخان الحريق واستخراج الدخان .

Liste des abréviations

COMIX : Chaude, Opaque, Mobile, Inflammable, toxique.

UV : ultraviolet

COV : composés organiques volatils

BTX : le benzène, le toluène et les ortho-méta et para- xylènes

HAP : Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

NPN : un courant négatif polarisé-courant positif polarisé - un courant négatif polarisé

CTN : coefficient de température négatif.

DENFC : dispositif d'évacuation naturelle de fumées ou de chaleurs

PF : pare-flammes

CF : coupe-feu

DAS : dispositif actionné de sécurité

SSI : système sécurité incendie

AES : Alimentation électrique de sécurité

UP : unité de passage

H : Hauteur

HL : Hauteur libre

EF : Épaisseur de la couche de fumée

AFNOR : Association Française de Normalisation.

AMDEC: Analyse des Modes de Défaillance, de leurs effets et de leur criticité.

FMECA : Failure Modes, Effects and Criticality .Analysis.

MTBF : La moyenne des temps de bon fonctionnement.

TBF : Le temps de bon fonctionnement.

TA : Le temps d'arrêt.

C : Criticité.

G : Gravité.

F : Fréquence.

D : Non-détection.

RIA : Robinet d'incendie armé.

Tableau des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction générale..... | 2 |
| Chapitre I . Composition de la fumée: définition, provenance, composition. | 2 |
| I.1. Introduction :..... | 2 |
| I.2. Tout d’abord, qu’est que la fumée ? | 2 |
| I.2.1. CARACTERISTIQUES THERMOCINETIQUES DE L’INCENDIE | 3 |
| I.2.2. COMPOSITION DES FUMÉES : LES POLLUANTS | 4 |
| I.3. Effet des fumées sur la santé humaine | 5 |
| I.3.1. Le dioxyde de soufre SO ₂ | 7 |
| I.3.2. Les oxydes d’azote..... | 8 |
| I.3.3. Le monoxyde de carbone | 9 |
| I.3.4. L’ozone | 10 |
| I.3.5. Les composés organiques volatils..... | 11 |
| I.3.6. Les hydrocarbures aromatiques monocycliques | 12 |
| I.3.7. Les particules en suspension..... | 13 |
| I.3.8. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques | 16 |
| I.3.9. Le radon | 17 |
| I.3.10. Les polluants allergènes | 20 |
| Chapitre II .Technique de détection des fumées | 18 |
| II.1. Phénomène de l’incendie :..... | 19 |
| II.2. Détection d’incendie :..... | 20 |
| II.2.1. Détection d’incendie par la chaleur : | 21 |
| II.2.2. Détection de la flamme :..... | 21 |
| II.3. Les capteurs | 26 |
| II.3.1. Les caractéristiques des capteurs : | 27 |
| II.3.2. Types de capteurs : | 27 |
| II.4. Capteurs utiles : | 29 |
| II.4.1. Capteurs optique :..... | 29 |
| II.4.2. Capteur de température :..... | 30 |
| II.4.3. Capteur de position et de déplacement : | 31 |
| II.4.4. Capteur de force : | 31 |
| Chapitre III .Les systèmes de sécurité incendie..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| III.1 Désenfumage | 34 |
| III.1.1 Définition..... | 34 |
| III.1.2 Objectif de désenfumage | 34 |
| III.1.3 Terminologie | 34 |
| III.2 Les Types de Désenfumage..... | 37 |
| A. Désenfumage naturel | 37 |
| B. Désenfumage mécanique | 40 |
| III.3 Application des systèmes de désenfumage..... | 44 |
| A- Désenfumage des escaliers en cloisonnés | 44 |
| A-1 Désenfumage par balayage naturel | 44 |
| A-2 Mise en surpression..... | 45 |
| B- Désenfumage des circulations en cloisonnées | 46 |
| B-1 Désenfumage par balayage naturel..... | 46 |
| B-2 Désenfumage mécanique avec amenée d'air neuf mécanique | 47 |
| C- Désenfumage des locaux accessible au publique | 50 |
| C-1 Désenfumage naturel des locaux | 54 |
| C-2 Désenfumage mécanique des locaux..... | 54 |
| Chapitre IV .Partie pratique. | 55 |
| Méthodes d'analyse des risques et application AMDEC | 55 |
| IV.1. Introduction : | 55 |
| IV.1.1. Méthode déductive : | 55 |
| IV.1.2. Méthode inductive : | 55 |
| IV.2. Domaines d'application : | 55 |
| IV.3. Méthode AMDEC | 56 |
| IV.3.1. Introduction | 56 |
| IV.3.2. Diagnostic | 57 |
| IV.3.3. Historique et domaines d'application | 58 |
| IV.3.4. Définition et Propriétés | 58 |
| IV.3.5. L'aspect qualitatif et quantitatif des défaillances..... | 59 |
| IV.3.6. Types d'amdec | 60 |
| IV.3.7. Les étapes de la méthode AMDEC | 60 |
| IV.3.7.1. Etape 1 : Initialisation | 61 |
| IV.3.7.2. Etape 2 : Analyse fonctionnelle | 61 |

| | |
|--|-----------|
| IV.3.7.3. Etape 3 : Analyse des défaillances | 61 |
| IV.3.7.3.1. Définition | 61 |
| IV.3.7.3.2. Mode de défaillance | 62 |
| IV.3.7.3.3. Les types des défaillances | 62 |
| IV.3.7.3.4. Le taux de défaillance $\lambda(t)$ | 64 |
| IV.3.7.3.5. Les causes de défaillance | 65 |
| IV.3.7.3.6. Situation des causes des défaillances | 65 |
| IV.3.7.4. Etape 4 : Cotation de criticité..... | 66 |
| IV.4. Application de L'AMDEC Sur le réseau Anti incendie de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle..... | 69 |
| IV.4.1. Le système de sécurité incendie..... | 69 |
| IV.4.2. Les composant et l'emplacement de système anti incendie de IMSI | 69 |
| IV.4.3. Tableau AMDEC | 71 |
| CONCLUSION | 76 |

Bibliographies

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I. 2 Illustration Effet des fumées sur la santé humaine. | 6 |
| Figure I. 3 Action de particules ultrafines | 14 |
| Figure II. 2 triangle de feu..... | 19 |
| Figure II. 3 détecteurs d'infrarouges. | 22 |
| Figure II. 4 détecteurs ultraviolet. | 22 |
| Figure II. 5 la combustion complète..... | 23 |
| Figure II. 6 la combustion incomplète. | 23 |
| Figure II. 7 L'emplacement du détecteur de fumée. | 24 |
| Figure II. 8 Détecteur ionique de fumée. | 25 |
| Figure II. 9 Principe de fonctionnement du Capteur..... | 26 |
| Figure II. 10 Constitution d'un capteur. | 26 |
| Figure II. 11 Phototransistor..... | 29 |
| Figure II. 12 diodes et transistors. | 30 |
| Figure III. 1 Exutoire de fumée | 34 |
| Figure III. 2 Ouvrant de désenfumage en façade. | 35 |
| Figure III. 3 Définitions relatives aux ouvrants. | 36 |
| Figure III. 4 volet de désenfumage..... | 37 |
| Figure III. 5 Désenfumage par balayage naturel. | 44 |
| Figure III. 6 Mise en surpression | 45 |
| Figure III. 7 Exemples d'implantation des bouches de désenfumage..... | 46 |
| Figure III. 8 Implantation des bouches de désenfumage..... | 47 |
| Figure III. 9 Exemples d'implantation des bouches de désenfumage mécanique. | 48 |
| Figure III. 10 Débits et sections minimales en désenfumage mécanique. | 48 |
| Figure III. 11 exemple des unités de passage des personnes. | 49 |
| Figure III. 12 Terminologie..... | 50 |
| Figure III. 13 Plafond suspendu comportant plus de 50 % de passage libre..... | 51 |
| Figure III. 14 Plafond suspendu ne comportant pas 50 % de passage libre..... | 51 |
| Figure III. 15 Découpage d'un local en cantons. | 52 |
| Figure III. 16 Écrans de cantonnement. | 53 |

| | |
|---|----|
| Figure III. 17 désenfumage des deux niveaux..... | 54 |
| Figure IV. 1 La Démarche AMDEC..... | 60 |
| Figure IV. 2 Courbe d'évolution du taux de défaillance..... | 64 |
| Figure IV. 3 Situation des causes des défaillances..... | 65 |
| Figure IV. 4 Photo de RIA a IMSI..... | 70 |
| Figure IV. 5 Poteau incendie d'IMSI..... | 70 |
| Figure IV. 6 bâche d'eau d'IMSI..... | 70 |
| Figure IV. 7 Extincteur à eau | 70 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I. 1 Tableau récapitulatif des Effets des fumées sur la santé humaine | 18 |
| Tableau II. 1 la comparaison entre la combustion complète et incomplète | 20 |
| Tableau II. 2 Capteur passif | 28 |
| Tableau II. 3 Les paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée..... | 28 |
| Tableau III. 1 Récapitulatif de la sélection des volets de désenfumage en circulation..... | 49 |
| Tableau IV. 1 Critères de choix pour les plus importantes méthodes d'analyse des risques... | 56 |
| Tableau IV. 2 Historique de l'AMDEC. [11]..... | 58 |
| Tableau IV. 3 Modes des défaillances les plus fréquents des systèmes complexes..... | 62 |
| Tableau IV. 4 Grille de Fréquence F..... | 66 |
| Tableau IV. 5 Grille de Gravité G..... | 67 |
| Tableau IV. 6 Grille de Non-Détection D..... | 68 |

Introduction générale

L'incendie est un des risques majeurs de notre société en termes de dommages humains et matériels, en particulier à cause de la concentration des populations et matériaux combustibles dans les villes, sites industriels ou forêts. C'est un phénomène violent et destructeur pour les activités humaines ou la nature. Bien que les réglementations, procédures de sécurité et retours d'expériences permettent de prévenir et lutter plus efficacement contre les incendies, leurs conséquences dramatiques dans les locaux confinés ne peuvent pas toujours être évitées. Lors d'un incendie, les suies produites par la combustion peuvent voyager bien plus loin que les limites du feu lui-même. Il n'est pas rare en effet que les suies d'incendie se propagent à d'autres locaux, voire à d'autres bâtiments. Ces suies sont extrêmement volatiles et pénètrent partout, y compris dans les appareils électroniques exposés, ce qui peut, en cas de non traitement, mener à un nouveau feu.

Les incendies entraînent trois grands types de pathologies, les brûlures, les traumatismes liées à la chute de matériaux et à la fuite des victimes et les intoxications aux fumées. Pendant très longtemps le risque toxique des fumées d'incendie a été sous-estimé. On sait depuis les années 1980 que 80% des décès sont en relation avec l'inhalation de fumées toxiques. C'est dans les incendies d'habitations et d'immeubles que surviennent la majorité des victimes d'incendie et des décès. Ceci a été expliqué par le changement de nature de l'équipement intérieur des maisons et plus particulièrement par l'introduction dans l'habitat de plus en plus des polymères synthétiques.

Et nous en discuterons dans cette mémoire Les dangers des espaces confinés et les dangers des fumées de feu dans les espaces confinés et comment les réduire et contrôler, et pour cela nous aborderons dans cette travail les chapitres suivants :

Chapitre I : Composition de la fumée: définition, provenance, composition.

Chapitre II : Technique de détection des fumées

Chapitre III: Système de contrôle de fumées : le désenfumage par évacuation mécanique.

Chapitre IV .Partie pratique

**Chapitre I : Composition de
la fumée: définition,
provenance, composition**

Chapitre I . Composition de la fumée: définition, provenance, composition.

I.1. Introduction :

La fumée, parfois appelée boucane en Amérique du Nord, est un nuage de particules solides émis par un feu ou un échauffement mécanique. Ces particules sont principalement de la suie (du carbone imbrûlé), ainsi que des cendres ; ces particules sont mélangées aux gaz de combustion et aux vapeurs chaudes. [1]

I.2. Tout d'abord, qu'est que la fumée ?

La fumée est le résultat d'une combustion incomplète, conduisant à la formation de fines particules liquides et solides en suspension dans le mélange des gaz de combustion.

Dans un incendie, la production des fumées est immédiate. Elle résulte de cinq phénomènes (vaporisation, distillation, décomposition, pyrolyse et combustion) Il est nécessaire d'indiquer que la pyrolyse des matériaux se poursuit même si l'air manque et conduit à des volumes de fumées et de suies bien plus conséquents. C'est là un facteur très aggravant lors des incendies dans les grands tunnels routiers. De plus, il n'est pas inutile de souligner que l'effet de four renforce la distillation.

La fumée représente cinq dangers (le moyen mnémotechnique souvent utilisé est le mot COMIX) :

Elle est Chaude ; La fumée vient du feu, donc elle est chaude. C'est une évidence. Mais un feu émet sa chaleur autour de lui (par rayonnement) et au-dessus de lui (par convection). Or, on estime que 60 à 70% de la puissance thermique d'un feu part par le haut (par convection). Les fumées se trouvant dans ce " panache " sont très chaudes ! Eten provoquant une élévation de température dans les locaux où elle se répand, elle peut provoquer la naissance d'un autre feu éloigné du foyer initial (phénomène de pyrolyse).

Elle est Opaque ; elle gêne la vue, mais aussi l'ouïe. Dans les fumées les sons sont assourdis, On entend "comme dans du coton". Elle gêne considérablement l'évacuation d'un bâtiment en feu et le travail des intervenants.

Elle est Mobile; elle est légère, se déplace, et cherche la moindre ouverture pour s'échapper .Elle transporte de la chaleur (gaz et particules chaudes).

Elle est Inflammable car elle contient la plupart du temps des gaz imbrûlés issus de la pyrolyse des matériaux ; lorsqu'elle se mélange à l'air, elle peut provoquer une explosion de fumées (Backdraft), ou un embrasement généralisé (flash over). [1]

Elle est toxique car elle provient de la combustion d'objets divers et si elle est inhalée, elle provoque des brûlures internes des poumons et des voies aériennes, qui s'ajoute à la toxicité des gaz. Suivant ce qui brûle, les fumées peuvent contenir des acides (chlorhydrique, cyanhydrique etc.). Ces gaz peuvent également nous contaminer par simple transmission au niveau de la peau.

I.2.1. CARACTERISTIQUES THERMOCINETIQUES DE L'INCENDIE

En amont de la dispersion atmosphérique de fumées toxiques, il convient généralement de quantifier le terme source, c'est-à-dire de caractériser le rejet de la substance vers l'air en terme de débit, de température, de vitesse... Il est donc nécessaire de définir le terme source par ses caractéristiques thermocinétiques : - débit de fumée : cette grandeur va fixer la quantité de produits (polluants) émise à l'atmosphère. Elle va dépendre notamment de la vitesse de combustion du combustible. Ce débit joue un rôle essentiel car il est évident que plus le débit des fumées est élevé, plus il sera difficile de diluer les fumées. - vitesse d'émission : elle dépend principalement de la température des gaz de combustion. En effet, la vitesse ascensionnelle résulte des forces d'Archimède sur le volume de gaz chauds. Par ailleurs, plus cette vitesse sera importante, plus la dilution des gaz se fera en altitude, minimisant à priori l'impact sur l'environnement. - hauteur d'émission : la hauteur d'émission correspond à l'altitude à laquelle a lieu la fin des réactions chimiques de combustion. Elle correspond grossièrement à la hauteur des flammes. Il est bien évident que plus la hauteur d'émission est importante, plus l'impact devrait être faible (la dilution se faisant en altitude). - température : elle résulte principalement de la nature des combustibles ainsi que des conditions de ventilation du foyer. Plus les fumées ont une température importante, plus elles seront susceptibles de s'élever du fait de la poussée induite par la différence de densité avec l'air. Il est donc important de déterminer la nature du combustible et de voir comment la nature du combustible influence les caractéristiques thermocinétiques.

Les principaux produits concernés dans un incendie sont des composés carbonés, azotés, chlorés, soufrés, ... et les variations quantitatives des différents composés de combustion, dépendent des conditions thermiques de décomposition, de l'analyse élémentaire chimique du produit et du type d'incendie. Par exemple, l'azote issu de feux bien ventilés est rejeté sous

forme de NO_x tandis qu'à forte température dans des feux à ventilation contrôlée, l'azote est majoritairement rejeté sous forme de HCN. [1]

I.2.2. COMPOSITION DES FUMÉES : LES POLLUANTS

D'une façon générale, les principaux polluants gazeux asphyxiants, irritants pouvant être rencontrés dans les fumées d'incendie sont les suivants (SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2002) :

- Le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO₂) : produits de combustion les plus fréquents et les plus abondants. La quantité globale de CO produite est du même ordre de grandeur pour tous les matériaux, qu'il s'agisse de produit compact ou expansé, de mousse souple ou rigide, de matière plastique ou de matériau traditionnel. Ω-16
- Toxicité et dispersion des fumées d'incendie Réf. : INERIS – DRA – N° 46055-CL57149 18/67 Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé que de manière intégrale
- L'acide cyanhydrique (HCN) : produit libéré avec les polyamides, les polyacrylonitriles, les poly-acrylonitriles butadiène styrène (ABS), les polystyrènes acrylonitrile (SAN) et les polyuréthanes et les polymères nitrés. A 1000°C, les polyuréthanes libèrent la totalité de leur masse sous forme d'HCN.
- Les oxydes d'azote ou les vapeurs nitreuses NO_x (NO, NO₂) : produits libérés avec les poly-acrylonitriles, les polyamides et les celluloses.
- L'anhydride sulfureux (SO₂) et le sulfure d'hydrogène (H₂S) : produits libérés dans le cas des poly-sulfones et d'autres polymères soufrés.
- L'acide chlorhydrique (HCl) : produit libéré dans le cas des PVC et des synthétiques ignifugés avec du chlore (polyesters chlorés). Par exemple, le PVC libère tout son chlore à 400°C sous forme d'HCl (1 bouteille d'eau minérale de 55 g libère 15 l de HCl).
- L'acide fluorhydrique (HF) : produit libéré dans le cas par exemple du polytétrafluoroéthylène.
- Le phosgène (COCl₂) : ce produit est libéré à l'état de traces dans certains cas de combustion.
- L'acrylonitrile ou le cyanure de vinyle : produit libéré par les SAN et les ABS.
- Le styrène : produit libéré dans le cas des polystyrènes.
- L'ammoniac (NH₃) : produit libéré dans le cas de certaines combustions de polyamides ou

lors de la décomposition d'engrais.

- L'acide acétique ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$) et le chlore (Cl_2) dans le cas de la combustion des acétates de vinyle.
- Le brome (Br_2) : produit libéré dans le cas de certains produits ignifugés ou halogénés, mais souvent à des seuils très inférieurs aux seuils toxiques. On peut noter que pour HCl , HF et NH_3 , une réaction avec l'humidité de l'air s'opère du fait que ces produits sont hygroscopiques. [2]

I.3. Effet des fumées sur la santé humaine

Les principaux polluants et leurs effets sur la santé :

L'air que nous respirons peut contenir des centaines de polluants, préjudiciables pour notre santé, sous forme gazeuse, liquide ou solide. Les polluants tels que SO_2 , HAP, métaux lourds, oxydes d'azote, radon, CO , O_3 , amiante, COV et formaldéhydes, polluants allergéniques) sont considérés comme des indicateurs de pollution de l'air nuisibles pour la santé. Ils font donc l'objet d'une réglementation. Il faut distinguer les épisodes pollution intenses et de courte durée des effets chroniques liés à la pollution atmosphérique. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, la maladie chronique est "un problème de santé qui nécessite une prise en charge sur une période de plusieurs années ou plusieurs décennies." [2]

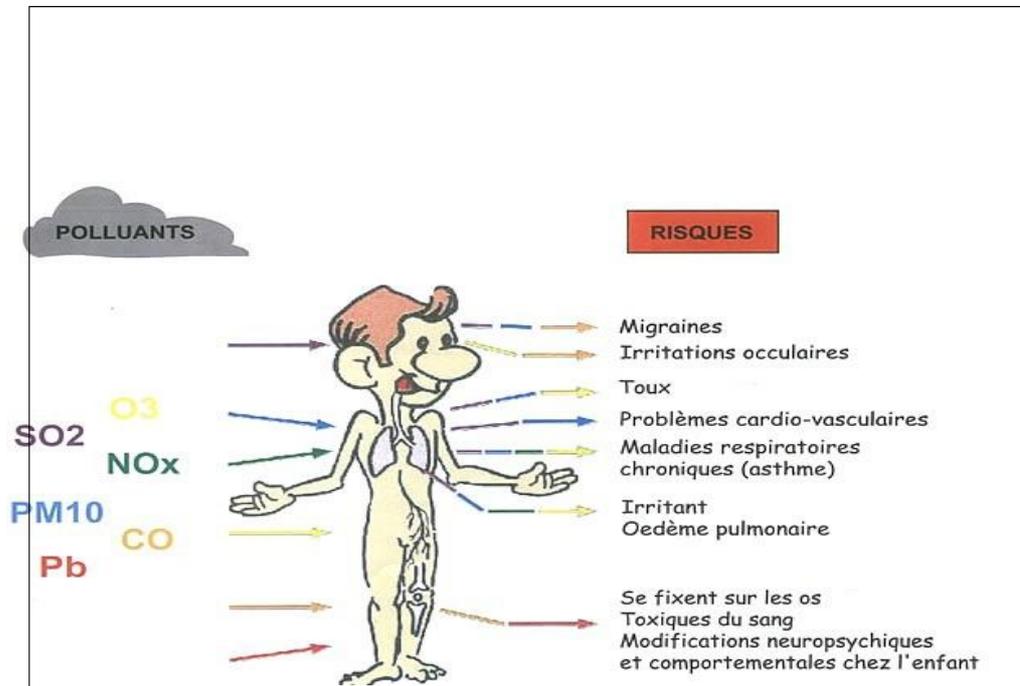


Figure I. 1 Illustration Effet des fumées sur la santé humaine.

I.3.1. Le dioxyde de soufre SO₂

Le SO₂, tout comme les particules, a été fortement impliqué dans les épisodes historiques de pollution atmosphérique qui ont entraîné un nombre élevé de décès, ceux de la Vallée de la Meuse en 1930, de Donora, en Pennsylvanie, en 1948, où à la faveur d'une inversion du gradient de température qui a plaqué au sol les émissions des combustions industrielles locales, 43% de la population s'est trouvée affectée et 19 décès ont été enregistrés. A Londres, en décembre 1952, une situation anticyclonique est à l'origine d'une augmentation brutale des concentrations ambiantes de SO₂ et de particules, augmentation associée à 4 000 décès supplémentaires. Il s'agit là de l'un des événements historiques qui a le plus contribué à faire prendre conscience de la gravité du phénomène " pollution atmosphérique".

Le SO₂ provient surtout de l'utilisation des combustibles fossiles qui contiennent du soufre, tels que le fioul, le charbon, le gazole, l'essence; par l'activité des industries et le chauffage et dans une moindre mesure par le trafic automobile.

Le SO₂ est avant tout un gaz irritant, notamment au niveau des yeux, de la peau et des poumons. Il faut préciser que pour les sujets sains, à moins d'une très forte exposition (plus de 1000µg/m³) il n'y a aucun effet immédiat. En revanche, pour les personnes asthmatiques et les enfants, une exposition à partir de 715µg/m³ suffit à altérer la fonction pulmonaire des asthmatiques avec un risque d'augmentation des bronchites chroniques, des excès de toux, des crises d'asthme et une baisse de la capacité respiratoire. Pour ces personnes, les effets dus au SO₂ sont ressentis dès les 5 premières minutes d'exposition et ils se dissipent une heure après la fin de l'exposition avec un risque très minime de crise retardée. Sur le long terme, on constate que le fait de vivre dans un milieu riche en SO₂ augmente la probabilité de contracter le cancer du poumon. [2]

En France La concentration de SO₂ a diminué de plus de 50% depuis 15ans du fait du développement de l'énergie électronucléaire, la régression du fuel lourd et du charbon, une bonne maîtrise des consommations énergétiques et la réduction de la teneur en soufre des combustibles. Aujourd'hui, les niveaux ambiants couramment observés vont de 30 à 150µg/m³. [2]

I.3.2. Les oxydes d'azote

- **Le monoxyde d'azote NO.**

Le NO est principalement émis lors des phénomènes de combustion à haute pression mais ce dernier s'oxyde assez rapidement en NO₂ sous l'action d'oxydants tels que l'ozone.

Il n'y a aucune connaissance de cas graves d'intoxication lié au NO. Pour de fortes concentrations en NO, il y a transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine ce qui peut entraîner une diminution de la capacité de transport de l'oxygène par l'hémoglobine.

Aux concentrations présentes dans l'atmosphère, NO n'a pas d'effets pathogènes mais, vraisemblablement, un effet bénéfique sur la fonction respiratoire ! Voici plusieurs années que

NO est utilisé, en techniques de réanimation à Paris, à l'hôpital Lariboisière, avec des concentrations relativement élevées. Inhalé à des concentrations de 30 à 100 mg par m³ d'air, NO provoque une vasodilatation et abaisse la pression artérielle pulmonaire. Il agit efficacement contre le syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) car il favorise l'oxygénation du sang en améliorant les échanges gazeux dans les poumons.

- **Le dioxyde d'azote NO₂.**

Les effets pathologiques de NO₂ ont été mis en évidence dans des circonstances accidentelles de travail. Exposés à une concentration de 10 mg de NO₂ par m³, des travailleurs ont présenté des troubles respiratoires très marqués mais transitoires ; ces troubles disparaissant après arrêt de l'exposition. Pour une exposition prolongée à des concentrations supérieures à 100 mg de NO₂ par m³, il se produit des irritations pulmonaires et une diminution persistante de la fonction respiratoire.

Les véhicules sont responsables à près de 60% du rejet de NO₂. Il y a également beaucoup de rejets dus aux installations de combustion comme les centrales thermiques ou les chauffages.

Le NO₂ est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Dès que sa concentration atteint 200µg/m³, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyperréactivité bronchitique chez l'asthmatique et une augmentation de la sensibilité des bronches aux infections microbiennes chez l'enfant. Les effets chroniques sont difficiles à prouver, mais il n'a pas de rôle cancérigène connu. Pour une exposition prolongée, les signes suivants peuvent se manifester : larmoiement, irritation, œil rouge, éternuement, toux, difficultés respiratoires, crises d'asthme, œdème aigu pulmonaire en cas de

très forte exposition. [2]

L'installation de pots d'échappement catalytiques sur les voitures a permis, depuis 1993, une diminution des émissions des véhicules à essence. Néanmoins, l'effet reste encore peu perceptible compte tenu de l'âge des véhicules et de l'augmentation importante du trafic automobile. [2]

I.3.3. Le monoxyde de carbone

Le CO, un gaz inodore et incolore est un très dangereux poison pouvant être mortel à fortes doses. Le CO se forme lorsque la combustion de matières organiques (gaz, charbon, fioul ou bois, carburants, ...) est incomplète par suite d'une insuffisance en O₂. La source principale du CO est le trafic automobile : ainsi, des taux importants de CO sont rencontrés quand un moteur tourne au ralenti dans un espace clos (garage...) ou en cas d'embouteillage dans des espaces ouverts (tunnels...). Ainsi, les concentrations de CO loin des axes routiers sont inférieures à 1ppm, elles peuvent atteindre 3 à 4ppm à proximité des grands axes routiers ou dans des parkings et il a été observé des pics à 50 ppm lors de trafic très dense. Le mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage domestique peut entraîner une intoxication au CO.

Le CO se fixe sur l'hémoglobine du sang à la place de l'O₂ pour former la carboxyhémoglobine ce qui conduit à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins.

Les premiers symptômes dus à une exposition au CO sont des maux de tête et des vertiges. Ces symptômes augmentent avec la concentration en CO puis peuvent apparaître des nausées, des vomissements et peuvent, si l'exposition est prolongée, aller jusqu'à la mort ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles. Cependant, lors d'expositions brèves, le phénomène est réversible après quelques heures.

Précisons qu'à l'inverse de nombreux autres polluants atmosphériques, une intoxication au CO n'affecte pas directement les voies respiratoires et ne provoque pas de bronchites chroniques ou d'autres maladies liées aux poumons. [2]

I.3.4. L'ozone

Rappelons que l'ozone n'est pas directement émis par les sources comme peuvent l'être la majorité des polluants atmosphériques. Il se forme surtout à partir d'interactions entre les rayons

UV solaires et d'autres polluants comme le NO, le CO, les COV (composés organiques volatils) présents entre autre dans les gaz d'échappement.

Les plus fortes concentrations se rencontrent lors des conditions de fort ensoleillement et de stagnation de l'air. Il se forme dans les zones polluées puis est transporté. De plus, dans les villes, il est détruit par réaction avec le monoxyde d'azote: les pointes de pollution sont donc plus fréquentes en-dehors des villes.

L'ozone est un gaz agressif pour les muqueuses oculaires et respiratoires. Pénétrant aisément jusqu'aux voies respiratoires les plus fines, il peut entraîner des irritations du nez, des yeux et de la gorge, des altérations de la fonction pulmonaire, des essoufflements et des toux. Il exacerbe les crises d'asthme. Ses effets sur la santé dépendent du niveau et de la fréquence des expositions, mais chez les personnes sensibles (enfants, asthmatiques, insuffisants respiratoires, allergiques), les symptômes (picotements et irritation des yeux, coryza, gêne respiratoire) apparaissent plus nettement à partir de $180\mu\text{g}$ d'ozone par m^3 d'air. Il ne semble pas possible de déterminer un seuil en dessous duquel ce polluant serait totalement inoffensif. De plus, les effets d'une exposition chronique sur le long terme restent encore mal connus.

Ces effets sont influencés par :

- **La durée :** plus l'exposition d'une personne à des concentrations élevées se prolonge, plus les réactions seront fortes.
- **L'intensité du travail ou de l'exercice physique :** plus les efforts physiques sont intenses, donc plus la demande en oxygène sera importante, donc plus les réactions seront fortes.
- **Les concentrations :** plus les valeurs d'ozone sont élevées, plus le nombre de personnes affectées augmente.

Nous pouvons classer ces concentrations et les effets qu'elles provoquent :

- Entre 120 et $180\mu\text{g}/\text{m}^3$: il s'agit d'une pollution marquée, les personnes sensibles souffriront probablement d'irritation des muqueuses (yeux, nez, gorge). En cas d'activité physique à l'extérieur, les enfants, les jeunes et les adultes sensibles risquent de subir une

faible réduction de leur fonction pulmonaire.

- Entre 180 et 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: il s'agit d'une pollution élevée, il y a une très grande probabilité que la population souffre d'irritation des muqueuses. En cas d'activité physiques à l'extérieur, une réduction de 5 à 10% de la fonction pulmonaire des enfants, des jeunes et des adultes sensibles est prévisible.
- Pour les valeurs supérieures à 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: il s'agit d'une pollution très élevée, il y a une très grande probabilité que la population souffre d'irritations des muqueuses. En cas d'activité physique à l'extérieur, la fonction pulmonaire de la population est réduite de 15% en moyenne. La fonction pulmonaire des personnes sensibles peut même être réduite de 30% ou plus. [2]

I.3.5. Les composés organiques volatils

Les COV sont très nombreux : de l'ordre de 50 à 300 composés organiques volatils ont été identifiés dans l'air dont beaucoup dans l'air intérieur. Conventionnellement, le formaldéhyde et autres aldéhydes ne font pas partie des COV ; cependant, en raison de leur importance, ils sont souvent considérés avec les COV. Les COV rentrent dans la composition des carburants mais aussi dans de nombreux produits courants comme la peinture, l'encre la colle, les détachants, les cosmétiques, les solvants...

Des COV (terpène, isoprène...) sont également émis par le milieu naturel (végétation méditerranéenne avec pins, les landes, ...) et certaines aires cultivées. Les COV les plus mesurés sont : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, m,p-Xylène, o-Xylène, Styrène, Trichloréthylène, Tétrachloréthylène, n-décane, n-undécane . Les autres COV regroupent les aldéhydes, les cétones et les hydrocarbures halogénés de faible poids moléculaire. Les effets sur la santé sont différents suivant la nature du polluant : certains peuvent générer une gêne olfactive, des irritations ou une baisse de la capacité respiratoire mais d'autres peuvent avoir un effet cancérigène ou mutagène. [2]

I.3.6. Les hydrocarbures aromatiques monocycliques

Les Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques sont une famille de composés parmi lesquels ne sont analysés actuellement que le benzène, le toluène et les ortho-méta et para-xylènes (BTX).

Le benzène peut être émis par les volcans et les feux de forêts, mais il est surtout présent dans les mélanges élaborés des raffineries de pétrole, dans les gaz d'échappement et dans les émanations des réservoirs d'essence.

Le benzène possède des effets propres à tous les COV : somnolence, maux de tête, irritations de la peau et des muqueuses. Une exposition chronique s'accompagne d'une grande

Toxicité pour les cellules sanguines et les organes qui les produisent (moelle osseuse...) ; ainsi, le benzène peut provoquer une chute de l'immunité cellulaire, des atteintes du système nerveux et des leucémies pour des expositions répétées à des concentrations de quelques ppm pendant plusieurs années. Ceci vient du fait que le benzène possède une très faible solubilité dans l'eau et est donc distribué, après inhalation, dans les tissus riches en graisse et dans la moelle osseuse ce qui peut créer des cancers et des mutations sur le long terme.

Ainsi, des statistiques ont été faites, notamment aux Etats-Unis où on estime que 70 décès par cancer et par an sont imputables au benzène dans l'environnement pour des gens qui ont été exposé à une concentration de 1 mg/m³ pendant toute leur vie. Les concentrations moyennes sont de l'ordre du µg/m³ mais on peut atteindre des concentrations de quelques dizaines de µg/m³ dans l'air ambiant.

Le toluène est surtout présent à l'intérieur des bâtiments mais on en trouve également expulsé par les automobiles et les industries. Il en est de même du xylène. Le toluène et le xylène peuvent provoquer des irritations cutanées et provoquer des troubles du système nerveux : insomnie, troubles de mémoire, baisse des performances intellectuelles, troubles de la personnalité.

En 2000, la teneur maximale en benzène des carburants est passée de 5% à 1%, en particulier grâce à l'installation de pots catalytiques sur les voitures. L'objectif pour l'avenir est de ne pas dépasser 2 µg/m³ en moyenne annuelle. [2]

Le formaldéhyde :

Les principaux aldéhydes mesurés en air intérieur sont : Formaldéhyde, Acétaldéhyde, Acroléine, Propanal, Butanal, Benzaldéhyde, Isopentanal, Pentanal, Hexanal. Ce sont des polluants d'intérieur qui sont surtout émis par le tabagisme, le chauffage, les peintures et autres solvants...

Ce sont très souvent des mélanges de COV que l'on rencontre dans l'air intérieur. Les effets des COV et du formaldéhyde sont extrêmement divers. Certains composés (dont le formaldéhyde) sont des irritants de la peau, des muqueuses (yeux, nez, gorge) et de l'arbre respiratoire. Le seuil de détection olfactif du formaldéhyde équivaut à une concentration de 60 à 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En dessous d'une concentration de 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de COV, il n'y aurait pas d'effet sur la santé humaine.

I.3.7. Les particules en suspension

Les particules constituent un ensemble complexe de substances organiques ou minérales dont les caractéristiques physico-chimiques et/ou biologiques sont influencées par les sources d'émission ou par leur processus de formation dans l'atmosphère. Alors que dans le passé, les fumées des processus incomplets de combustion de charbon, notamment du fait des activités industrielles et du chauffage domestique, dominaient la composition de l'aérosol urbain, les particules en suspension dans l'air sont aujourd'hui principalement issues des véhicules automobiles (surtout de type diesel), des usines productrices d'énergie non nucléaire ainsi que des réactions chimiques entre gaz atmosphériques et l'humidité de l'air. Elles peuvent également être d'origine naturelle (volcan). On distingue les PM_{2.5} (Particulate Matter) dites particules « fines » de diamètre $<2,5\mu\text{m}$ (moteurs diesel et vapeurs industrielles condensées) et les PM₁₀ dites « grosses » particules de diamètre $<10\mu\text{m}$ (combustions et procédés industriels).

La taille des particules va influencer leur degré de pénétration dans les poumons. Plus une particule est fine et plus elle va pénétrer profondément dans les voies respiratoires et donc avoir un impact important sur la santé. Les particules de grande taille vont être précipitées sur la muqueuse du pharynx puis dégluties. Quant aux particules de petite taille, elles vont pénétrer en grand nombre dans les alvéoles pulmonaires et vont être lentement éliminées par phagocytose (quelques jours à quelques semaines). Les inflammations produites vont faciliter le passage des polluants véhiculés par les particules dans les courants lymphatique et sanguin.

[2]

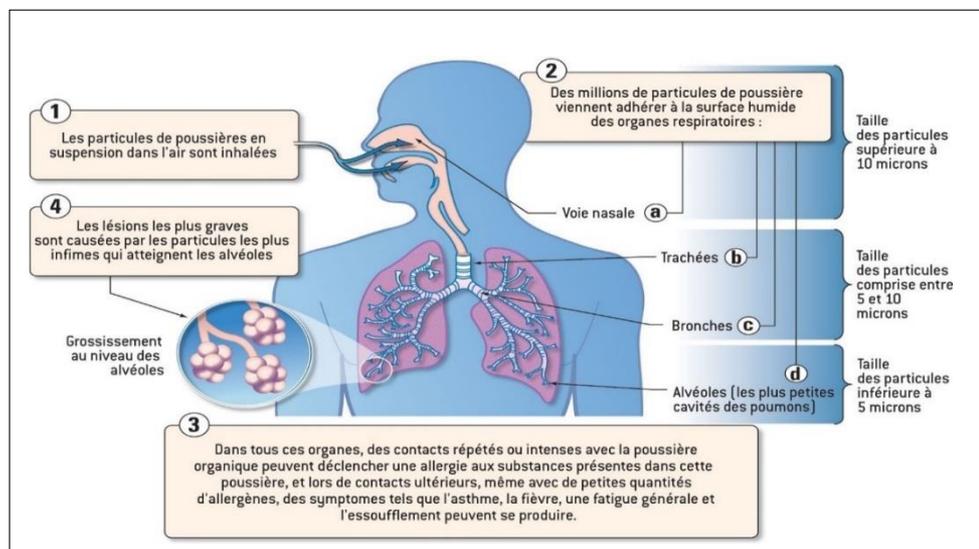


Figure I. 2 Action de particules ultrafines

Les particules ultrafines sont suspectées de provoquer également des effets cardio-vasculaires. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes (métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc...), surtout celles émises par les voitures diesel.

On classe les effets des particules en trois catégories :

- les réactions inflammatoires non spécifiques
- les effets génotoxiques et cancérigènes
- les effets immunotoxiques et allergiques

Des études épidémiologiques à court terme ont montrés qu'il existe un lien entre l'émission de particules et l'aggravation des signes cliniques chez les personnes asthmatiques. De plus, chez les personnes âgées ayant un état respiratoire dégradé, la fréquence des décès par affections respiratoires ou cardio-vasculaires augmente avec les émissions de particules.

Sur la période 1996-2002, les concentrations de particules dans l'air ont diminué en raison notamment des avancées technologiques sur les véhicules.

L'Union européenne a fixé des valeurs de référence pour la qualité de l'air considérablement plus basses que les normes précédentes pour les particules (valeur limite de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière, et valeur annuelle à $40\mu\text{g}/\text{m}^3$, et $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ à échéance 2010), et normalise la mesure des PM10. L'EPA a également fixé une norme pour les particules fines

Chapitre I : Composition de la fumée: définition, provenance, composition.

(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne 24 heures). La directive européenne du 22 avril 1999 envisage aussi de reconsidérer les normes de qualité de l'air pour les particules, à la lumière des données scientifiques récentes concernant les PM_{2.5}.

I.3.8. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Les HAP constituent une vaste famille de quelques centaines de composés de structure chimique commune, à savoir une formation à partir de 4 à 7 noyaux benzéniques. Face à cette multitude de composés, les scientifiques se sont focalisés sur 16 HAP particuliers dont les effets nocifs sont mieux connus : Acénaphthène ; Acénaphthylène ; Anthracène ; Benzo(a)anthracène ; Benzo(a)pyrène (le plus connu et le plus dangereux); Benzo(b) fluoranthène ; Benzo(g,h,i)perylène ; Benzo(k) fluoranthène ; Chrysène ; Dibenz(a,h)anthracène ; Fluoranthène ; Fluorène ; Indéno(1,2,3-c,d)pyrène ; Naphtalène ; Phénanthrène ; Pyrène.

Les HAP sont toujours émis sous forme de mélange ; dont certains sont plus dangereux que d'autres. Les principales sources d'émission sont la combustion des matières fossiles, que ce soit pour le chauffage, le trafic automobile ou les activités industrielles. Une autre source d'émission est l'extraction et le transport de ces matières fossiles, les centres d'incinération des ordures ménagères ou encore les feux de forêts.

Les émissions de benzo(a)pyrène en milieu rural sont en moyenne de 0.2ng/m³ et elles varient de 1 à 10ng/m³ dans les villes. Précisons que dans les espaces clos, des pics à plus de 20 ng/m³ ont été observés dus au tabagisme.

Les HAP font partie des polluants les plus reconnus sur l'origine des cancers comme celui de la vessie, des voies nasales ou du poumon qui peuvent survenir après une inhalation régulière. Il est très difficile d'attribuer ces cancers à tel ou tel HAP, voire aux HAP en général, car les personnes atteintes sont soumises le plus souvent à un mélange de ces polluants (divers HAP, mais aussi des métaux, surtout en milieu professionnel ...). De plus, les HAP sont très instables dans l'air et peuvent réagir avec d'autres polluants comme l'ozone, le NO₂, le SO₂ pour donner d'autres pollutions plus ou moins dangereuses. Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique a proposé en 1997 une valeur limite de 0,7ng/m³ en moyenne annuelle et l'objectif pour l'avenir est d'arriver à 0,1ng/m³. [2]

I.3.9. Le radon

Le radon est un gaz rare radioactif naturellement émis par le sol, il est produit en permanence par désintégration radioactive du radium contenu dans l'écorce terrestre. La nature du sous-sol peut influer sur les émissions, ainsi selon les régions des niveaux très variables sont observés.

A l'air libre, le radon est en concentration si faible qu'il ne pose pas de risque pour la santé. C'est en milieu clos qu'il faut faire attention. L'effet le plus connu lié aux expositions à des doses élevées de radon est un risque accru de développer un cancer du poumon. Il peut s'écouler plusieurs années entre l'exposition et la manifestation clinique de la maladie. Des données scientifiques attestent que l'usage du tabac augmente le risque lié à l'exposition au radon. De façon générale, le risque de développer un cancer du poumon par suite d'une exposition au radon augmente avec le niveau de radon et la durée de l'exposition. Le risque de cancer du poumon augmente de 16 % par tranche de 100 Bq/m³. Selon les récentes estimations de l'Organisation mondiale de la santé, 6 à 15% des cancers du poumon sont imputables au radon.

Le radon se diffuse aussi dans le sang ; s'il peut, en principe, accéder à tous les tissus, il présente une nette préférence pour les graisses, dans lesquelles il se dissout particulièrement bien ; c'est le cas de la moelle osseuse riche en graisses. Là, si les dégâts qu'il inflige ne sont pas réparés à temps, il peut dérégler les cellules précurseurs des globules blancs avec comme conséquence, à plus ou moins long terme, la leucémie.

Le radon serait aussi responsable de cancers chez l'enfant, de cancers du cerveau, de la moelle épinière, des os (ostéosarcomes), de mélanomes et de cancers du rein.

De nombreux pays ont fixé à 200-400 Bq/m³ la valeur à partir de laquelle des mesures doivent être prises pour diminuer la concentration en radon dans l'air à l'intérieur des habitations. [2]

Chapitre I : Composition de la fumée: définition, provenance, composition.

Tableau I. 1 Tableau récapitulatif des Effets des fumées sur la santé humaine

| Polluants | EFFETS | Seuil d'alerte Moy. horaire | Objectif qualité Moy. annuelle |
|-----------------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|
| SO ₂ | Irritations oculaires, cutanées, pharyngites et bronchites chroniques, affections respiratoires (toux chronique, dyspnée), maladie respiratoire ou cardio-vasculaire. | 500µg/m ³ | 50µg/m ³ |
| NO _x | Troubles neurologiques, hématologiques et rénaux et troubles du développement cérébral chez l'enfant, néphrologie, rhinite, perte d'odorat, atteint le système cardio-vasculaire, broncho-pneumopathies chroniques, cancérigène. | 400µg/m ³ | 40µg/m ³ |
| CO | Affecte le système cardio-vasculaire et le système nerveux (troubles visuels et dans la coordination des mouvements). | | 10mg/m ³ |
| O ₃ | Affecte les muqueuses oculaires et respiratoires, les bronches et atteint les alvéoles pulmonaires. | 360µg/m ³ | 110µg/m ³ |
| COV | Irritations des muqueuses olfactive, oculaire et respiratoire, allergies, baisse du système cellulaire, atteinte du système nerveux central, effets neuro- comportementaux, diminution de la capacité respiratoire | | 2µg/m ³ |
| Particules | Altère la fonction respiratoire dans son ensemble, effets cardio-vasculaires, mutagène et cancérigène | 125µg/m ³ | 30µg/m ³ |
| HAP | Cancers du scrotum, de la vessie, des voies nasales, du poumon | | 1ng/m ³ |
| Métaux lourds | Troubles neurologiques, hématologiques et rénaux et troubles du développement cérébral chez l'enfant, néphrologie, rhinite, perte d'odorat, atteint le système cardio-vasculaire, broncho-pneumopathies chroniques, cancérigène | | 0,25µg/m ³ |
| Radon | Troubles neurologiques, hématologiques et rénaux et troubles du développement cérébral chez l'enfant, néphrologie, rhinite, perte d'odorat, atteint le système cardio-vasculaire, broncho- | 1000Bq/m ³ | |

Chapitre I : Composition de la fumée: définition, provenance, composition.

| | | | |
|--|---------------------------------------|--|--|
| | pneumopathies chroniques, cancérigène | | |
|--|---------------------------------------|--|--|

I.3.10. Les polluants allergènes

Les allergènes "aériens" sont les substances que l'on retrouvera dans l'air intérieur ou extérieur et qui sont susceptibles de déclencher des allergies.

Ce sont principalement :

- *Les acariens* : arachnides mesurant moins d'un ½ mm se comptant par millions dans les literies. En soi, ils sont inoffensifs pour l'homme, mais ce sont leurs carapaces et leurs déchets qui provoquent des allergies. Ils prolifèrent dans des milieux chauds (entre 26 et 32°C), humides (75% d'hygrométrie) et riches en aliments (poils, peaux mortes...).
- *Les pollens* : polluants naturels dont la présence et donc les dangers ont été accentués par les modifications de notre environnement (déforestation, terrains en friche en zone urbaine, gazons, désherbants...)
- *Les moisissures, d'intérieur et d'extérieur* : polluants naturels se développant lorsque le temps est chaud et humide.
- *Les poils d'animaux, blattes...*

Mais certaines substances chimiques telles que le formol peuvent également avoir des propriétés allergéniques.

Ces allergènes présents dans l'air ambiant pénètrent dans l'organisme par inhalation et déclenchent ainsi des symptômes de conjonctivite, rhume, rhinite, asthme, eczéma, urticaire... en arrivant sur les muqueuses oculaires, nasales et respiratoires. Ils sont considérés comme bénins lorsqu'il s'agit d'une rhinite ou de conjonctivite. Une étude réalisée en 1999 parmi la population française a montré que la rhinite allergique occasionne de la somnolence, des maux de tête et des difficultés à se concentrer. D'autre part, ils peuvent être plus graves, voire mortels quand ils s'accompagnent d'asthme. Le seuil de sensibilisation pour les allergènes d'acariens est de 2µg/g d'allergènes d'acariens par gramme de poussière mais pour certains patients le seuil de sensibilisation est plus bas. [2]

Chapitre II : Technique de détection des fumées

Chapitre II . Technique de détection des fumées

Introduction :

Le détecteur de fumée est un dispositif important, il permet de prévenir les habitants en cas de feu nocturne ou dans un endroit non surveillé. Dans les pays où le taux d'équipement en détecteurs de fumée dépasse 80%, une réduction de 50% de la mortalité due aux incendies d'habitation et une réduction du nombre d'interventions des pompiers. A titre d'exemple, les

Etats-Unis ont enregistré 3,2 millions d'incendies en 1977 dont 1,1 million sont des incendies d'habitations, ce qui a provoqué 6 000 décès. En 1995 alors que l'installation de détecteurs de fumée était devenue obligatoire dans 80% des états et que 93% des logements américains étaient équipés de détecteurs de fumée, le nombre d'incendies a baissé jusqu'à 1,97 million, dont 0,57 million d'incendies d'habitation causant 3 640 décès. Parmi les pays les plus avancés dans le domaine de la prévention, on peut citer la Norvège avec 98% de logements équipés de détecteurs avertisseurs de fumée, les Etats-Unis avec 95% de logements équipés, le Canada avec 94% de logements équipés et l'Angleterre avec 89% de logements équipés.

Il existe plusieurs types de détecteur d'incendie comme des détecteurs de chaleur, des détecteurs de flamme ou des détecteurs de fumée optique et ionique. Malgré le rôle important joué par ces détecteurs pour prévenir les risques d'incendie, aucun ne peut être utilisé en toutes circonstances et pour tous types de feux.

II.1. Phénomène de l'incendie :

Le feu est une formidable source d'énergie utilisée par l'homme depuis des centaines de milliers d'année (400 millions). Il est créé par une réaction d'oxydation exothermique qui se déclenche lorsque trois éléments nécessaires sont réunis : (1) le combustible, (2) le comburant et (3) une source d'énergie d'activation. Cela est schématisé sur la figure.

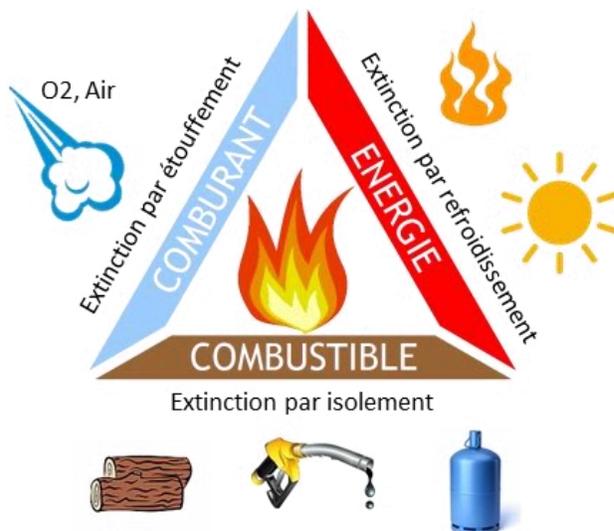


Figure II. 1 triangle de feu.

Le combustible est l'élément qui brûle, par exemple le bois, le coton, le papier ou le fuel. Le comburant est ce qui alimente la combustion, principalement l'oxygène présent dans l'air. La source d'énergie d'activation permet de déclencher la réaction, cela peut être une étincelle, une flamme ou simplement le soleil. Il faut de plus que le combustible et le comburant interagissent de manière continue.

La combustion dégage de la chaleur, de la lumière et des produits chimiques.

Lorsque la stœchiométrie du carburant et du comburant est contrôlée, la combustion est complète, le feu est maîtrisé et son utilisation est bénéfique. Au contraire, lorsque la combustion est incomplète et non maîtrisée, beaucoup

De fumée et de produits chimiques se dégagent. Le tableau compare les Combustions complète et incomplète. [3]

Tableau II. 1 la comparaison entre la combustion complète et incomplète

| Oxydants | La qualité disponible est-elle suffisante | Montant disponible insuffisant |
|----------------------------|---|---|
| Combustion d'hydrocarbures | La dioxyde de carbone et l'eau sont produits | Du monoxyde de carbone et de l'eau sont produits |
| Flamme | Couleur bleue | Couleur jaune ou orange |
| Fumée | Non produit | Est produit |
| Production d'énergie | Haute | Bas |
| Impact sur l'environnement | Réchauffement climatique du au dioxyde de carbone | Pollution de l'air par le monoxyde de carbone et la fumée |

L'incendie est rapide. Il suffit de quelques minutes pour qu'il envahisse un habitat et devienne incontrôlable. Il est chaud, sa température peut atteindre 600°C en moins de 5 minutes provoquant des brûlures graves aux poumons pour les personnes présentes. Il dégage des fumées toxiques qui perturbent le fonctionnement mental, moteur et sensoriel des victimes. La fumée contient des suies noires qui font qu'en quelques minutes tout devient sombre même en plein jour, rendant difficile l'évacuation. [3]

II.2. Détection d'incendie :

Le but de la détection d'incendie est de donner l'alerte au plus tôt et ainsi prendre les mesures appropriées afin de diminuer les conséquences humaines et matérielles. Ces mesures consistent en général en l'évacuation des personnes de la zone de danger et en l'extinction du feu aussi rapidement que possible par un personnel qualifié.

II.2.1. Détection d'incendie par la chaleur :

Les détecteurs de chaleur sont les plus anciens détecteurs automatiques d'incendie et aussi les moins coûteux. Ils ont le plus petit taux de fausses alarmes mais aussi le temps de réponse le plus long. Ce dernier est de l'ordre de quelques minutes. Le détecteur de chaleur est donc le meilleur choix pour la détection de feu dans de petits espaces clos où la production de chaleur est rapide ou dans des endroits ne permettant pas l'utilisation d'autre type de détecteur.

Les détecteurs de chaleur peuvent aussi être utilisés là où la vitesse de détection n'est pas l'élément primordial. La chaleur étant véhiculée dans un premier temps par convection, les détecteurs de chaleur sont généralement situés près du plafond. Lorsqu'ils sont sensibles à un seuil de température prédéterminé, ils sont dénommés les détecteurs thermostatiques. Lorsqu'ils sont sensibles à la vitesse d'élévation de la température, ils sont dénommés détecteurs thermo-vélocimétriques. Certains détecteurs combinent les deux modes de détection pour un meilleur résultat. [4]

II.2.2. Détection de la flamme :

Les détecteurs de flammes détectent les radiations ultraviolettes ou infrarouges dégagées par la flamme. En comparaison avec les autres détecteurs d'incendie, les détecteurs de flammes ont le taux de fausses alarmes le plus élevé et le temps de détection le plus rapide. Le temps de détection pour des détecteurs de flammes est généralement de l'ordre de la

Milliseconde. Les détecteurs de flammes sont généralement utilisés dans des secteurs à haut risque comme les plates-formes de chargement de carburants, les secteurs industriels, les chambres à haute Pression, les endroits où un risque d'explosions ou d'incendie très rapides existe. En général l'utilisation des détecteurs de flammes est limitée aux endroits non-fumeur et aux zones de stockage des matériaux inflammables.

La combinaison de détecteurs d'ultraviolets et d'infrarouges est utilisée dans les chambres hyperbares. [4]

A. : Les détecteurs d'infrarouges :

Les détecteurs d'infrarouges sont essentiellement composés d'un filtre et d'un système de lentilles qui élimine les longueurs d'ondes indésirables et focalise l'énergie entrante sur une cellule photovoltaïque, photo-résistive sensible à l'infrarouge. [4]



Figure II. 2 détecteurs d'infrarouges.

B. Détecteurs ultraviolets :

Les détecteurs d'ultraviolets sont des dispositifs solides tels que le carbure de silicium ou le nitrure d'aluminium, ou des tubes de gaz qui s'ionisent en présence de radiations ultraviolettes. Les détecteurs d'ultraviolets sont opérationnels dans une gamme de longueurs d'ondes allant de 0,11 μm à 0,30 μm . Ils sont donc pratiquement insensibles aux lumières artificielles ou au soleil. [4]



Figure II. 3 détecteurs ultraviolet.

C. Détection de fumées :

Dans le domaine de la détection du feu, la fumée se réfère aux particules solides ou liquides générées pendant la combustion. Les solides sont des agglomérations de particules carbonées formées dans les parties riches en carburant de la flamme. Les vapeurs peuvent condenser sur des noyaux solides, rapportant un liquide couvert de particules de fumée. Ce processus de condensation exige que la température soit en-dessous de la température de vaporisation quand la concentration de vapeur est suffisamment haute ce qui peut arriver dans le cas d'un feu couvant où toute la fumée est essentiellement sous forme de vapeur condensée.

C'est pourquoi la fumée du feu couvant apparaît plus claire, le liquide étant en grande partie de l'eau. En revanche la fumée due aux flammes est plus sombre, constituée essentiellement de carbone. Il en résulte aussi que la taille des particules des feux couvant est plus grande que celle des feux vifs.

Les détecteurs de fumée photoélectriques sont particulièrement sensibles aux feux couvant.

Les détecteurs de fumée à ionisation sont particulièrement appropriés pour les feux vifs produisant des flammes. Enfin les détecteurs à ionisation réagissent aux particules de fumée visibles ou invisibles. Ils répondent mieux aux particules de taille comprise entre $0,01 \mu\text{m}$ et $1,0 \mu\text{m}$.



Figure II. 4 la combustion complète.



Figure II. 5 la combustion incomplète.

Les détecteurs de fumées sont plus coûteux que les détecteurs de chaleur, mais leur temps de réponse est de l'ordre de quelques secondes. C'est pourquoi les détecteurs de fumée sont très efficaces dans les endroits où la protection des personnes est primordiale. Leur emplacement est très importants car les courants d'air peuvent affecter la direction des flux de fumée et doivent donc être pris en considération. Les détecteurs de fumées ne servent pas qu'à prévenir d'un danger, ils

sont également utilisés dans les systèmes de ventilation automatique des grands bâtiments pour empêcher la circulation de fumée de l'extérieur vers l'intérieur. Une fois la fumée détectée l'appareil se met automatiquement en route pour faire sortir la fumée du bâtiment. [4]

L'emplacement du détecteur de fumée :

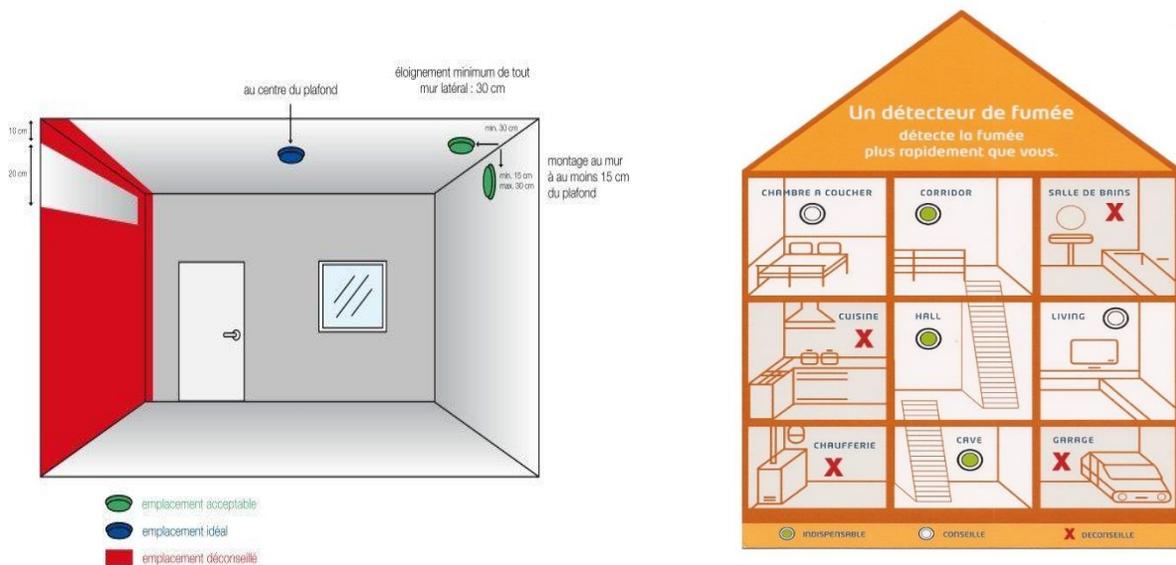


Figure II. 6 L'emplacement du détecteur de fumée.

Les détecteurs de fumée sont classifiés selon leur principe d'exploitation. Il en existe deux types principaux : 1 à ionisation et 2 photoélectrique. Chacun de ces deux types de détecteurs à ses propres utilisations. [4]

a) Détecteur ionique de fumée :

Le principe de fonctionnement d'un détecteur de fumée à ionisation est basé sur la réduction du courant électrique produit par la dérive de charges dans une chambre d'ionisation en dessous d'un seuil donné. Dans un premier temps, les molécules de l'air (l'azote et l'oxygène) sont ionisées dans la chambre d'ionisation. Ces molécules ionisées se déplacent ensuite dans la chambre sous l'effet d'un champ électrique produit par deux électrodes soumises à une tension de quelques Volts. De ce fait, un faible courant, de l'ordre de 10 pA, apparaît entre les électrodes. Lorsque des particules de fumée pénètrent dans la chambre d'ionisation, celles-ci s'attachent aux charges et les alourdissent significativement. Cela entraîne une diminution de la vitesse des charges ce qui laisse

plus de temps aux charges pour se recombinaison et donc le courant électrique entre les électrodes baisse. [4]

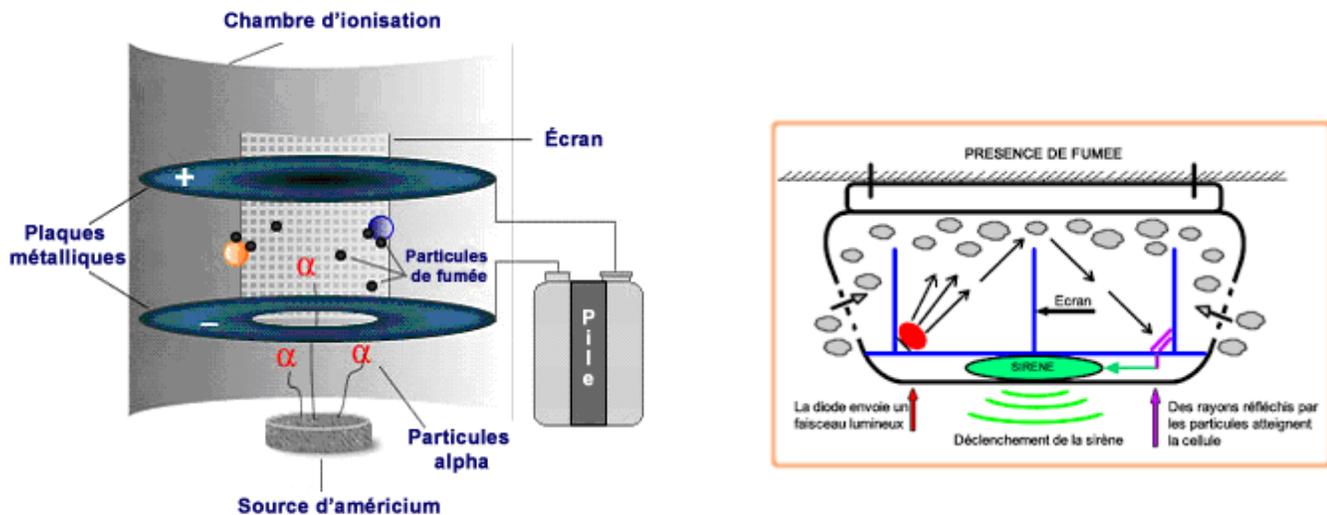


Figure II. 7 Détecteur ionique de fumée.

b) Détecteur linéaire optique de fumée :

Dans ce type de détecteur, la source de lumière et le récepteur sont placés de manière à ce que le récepteur reçoive toujours la lumière (infrarouge) émise par la source. ce détecteur fonctionne sur le principe de l'absorption, le niveau de lumière reçu par le récepteur est mesuré et comparé en permanence avec un seuil prédéfini. Lorsque la fumée passe entre la source et le récepteur, l'absorption de la lumière par les particules de fumée baisse le niveau de la lumière reçu par le récepteur, et si le seuil prédéfini est atteint l'alarme se déclenche.

II.3. Les capteurs

Le capteur est l'élément indispensable à la détection des grandeurs physiques, vu qu'il permet de mesurer les effets des phénomènes de toutes natures qui agissent sur l'environnement de l'homme, l'évolution de nos jours due à la liaison entre la machine et l'homme est le parfait exemple. [1]

Définition d'un capteur : Un capteur est un mécanisme ou dispositif ayant la possibilité de transformer une grandeur physique en une grandeur électrique exploitable. [1]



Figure II. 9 Principe de fonctionnement du Capteur.

Constitution d'un capteur :

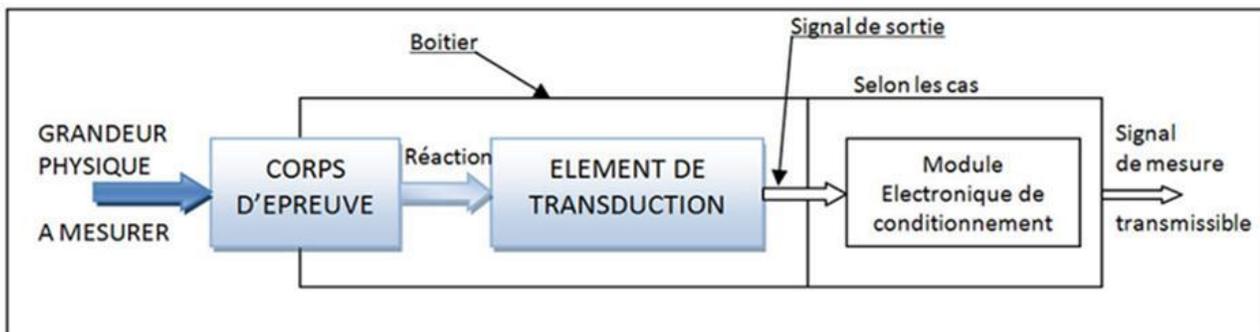


Figure II. 10 Constitution d'un capteur.

- Corps d'épreuve: élément mécanique qui réagit sélectivement à la grandeur à mesurer (appelée aussi mesurande). Il a pour but de transformer la grandeur à mesurer en une autre grandeur physique dite mesurable.
- Élément de transduction : élément sensible lié au corps d'épreuve. Il traduit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique constituant le signal de sortie.

- Boîtier: élément mécanique de protection, de maintien et de fixation du capteur.
- Module électronique de fonctionnement : il a, selon les cas, les fonctions suivantes:
 - alimentation électrique du capteur (si nécessaire)
 - mise en forme et amplification du signal de sortie
 - filtrage, amplification
 - conversion du signal (CAN,...)

II.3.1. Les caractéristiques des capteurs :

- L'étendue de la mesure : C'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand signal perceptible, sans risque de destruction pour capteur.
- La sensibilité : C'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- la rapidité : C'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande.
- la précision : C'est la capacité de répétition d'une information, position, d'une vitesse.
- Résolution : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur. [1]

II.3.2. Types de capteurs :

Si l'on s'intéresse aux phénomènes physiques mis en jeu dans les capteurs, on peut classer ces derniers en deux catégories.

- Capteurs actifs
- Capteurs passifs

- **Capteur actif :**

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre au mesurande : énergie thermique, mécanique ou de rayonnement.

- **Capteur passif :**

Tableau II. 2 Capteur passif

| Grandeur physique à mesurer | Effet utilisé | Grandeur de sortie |
|------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Température | Thermoélectricité | Tension |
| Température | Pyroélectricité | Charge |
| Flux de rayonnement optique | Photo-émission | Courant |
| Flux de rayonnement optique | Effet photovoltaïque | Tension |
| Flux de rayonnement optique | Effet photo-électrique | Tension |
| Force ou pression | Piézo-électricité | Charge |
| Accélération ou Vitesse | Induction électromagnétique | Tension |
| Position (aimant) ou Courant | Effet Hall | Tension |

Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. [1]

Tableau II. 3 Les paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.

| Mesurande | Caractéristique électrique sensible | Types de matériaux utilisés |
|-----------------------------|--|---|
| Température | Résistivité | Métaux : platine, nickel, cuivre. Semi-conducteurs. |
| Très basse Température | Constante diélectrique | Verres |
| Flux de rayonnement Optique | Résistivité | Semi-conducteurs. |
| Déformation | Résistivité Perméabilité magnétique | Alliages de nickel, silicium dopé Alliages ferromagnétiques. |
| Position (aimant) | Résistivité | Matériaux magnéto-résistants : bismuth, antimoineure d'indium |
| Humidité. | Résistivité Constante diélectrique | Chlorure de lithium Alumine ; polymères. |
| Niveau | Constante diélectrique | Liquides isolants. |

II.4. Capteurs utiles :

II.4.1. Capteurs optique :

1. Photorésistance :

Une photorésistance appelé aussi LDR (light dépendent résistor = résistance dépendant de la lumière) est une résistance dont la valeur varie en fonction du flux lumineux qu'elle reçoit.

Exemple: Obscurité : $R_0 = 20 \text{ M}\Omega$ (0 lux) ; Lumière naturelle : $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ (500 lux)

Lumière intense : $R_2 = 100 \Omega$ (10000 lux).

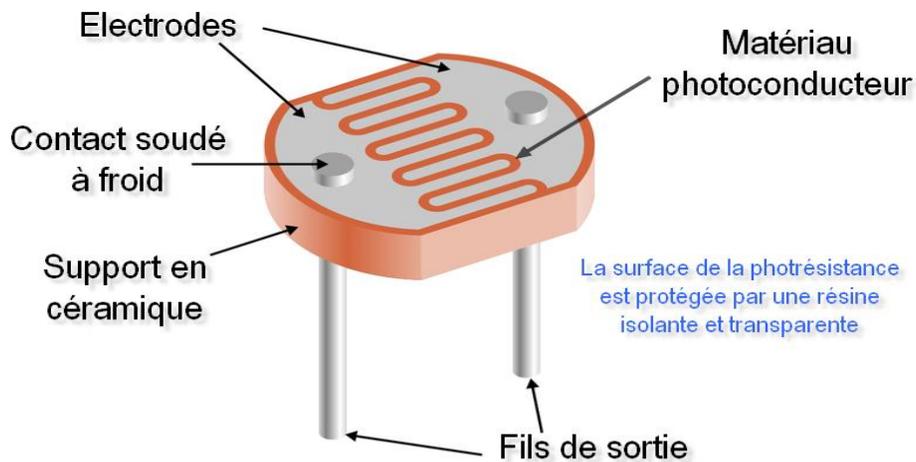
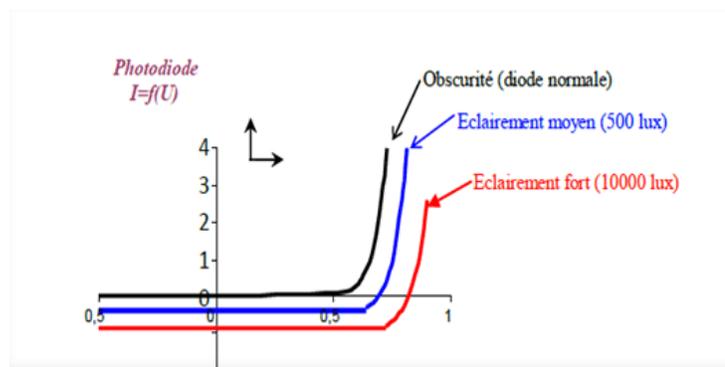


Figure II. 11 Photorésistance.

2. **Photodiode** : Une photodiode est une diode dont la jonction PN peut être soumise à un éclairement lumineux.



Courbe : Le graphe $I = f(U)$ pour une photodiode dépend de l'éclairement en (Lux) de la jonction PN

On constate que lorsque la diode est éclairée, elle peut se comporter en générateur ($I = 0$, $U = 0,7V$ pour 1000lux). On a donc affaire à une photopile (effet photovoltaïque).

Phototransistor : Il s'agit d'un transistor, en général au silicium et de type NPN, dont l'élément semi-conducteur constituant la base peut être éclairé ; celle-ci n'étant en général pas électriquement accessible, aucune polarisation externe ne lui est appliquée alors qu'entre collecteur et émetteur la polarisation est normale.

II.4.2. Capteur de température :

Permettant en tant que tels de mesurer la température au moyen d'un signal électrique déterminé. Ils peuvent envoyer ce signal directement ou indirectement en changeant de résistance.

- ✓ **Thermomètre à thermocouple :** Le Thermomètre à Plage Totale est l'un des thermomètres les plus techniquement avancés, de lecture la plus rapide et les plus faciles à utiliser jamais conçus.
- ✓ **Thermistance :** Thermistance CTN 2,2k Ω . Code article : 05335. Les CTN sont des composants dont la résistance diminue lorsque la température augmente.
- ✓ **Thermométrie par diodes et transistors**

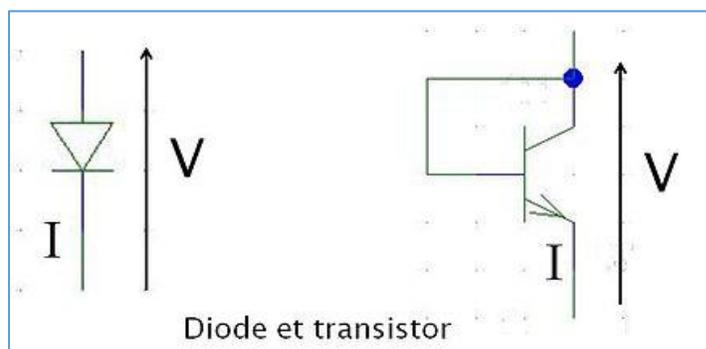


Figure II. 12 diodes et transistors.

- ✓ **Thermomètre à résistances métallique** : Les thermomètres à résistance métallique, les thermomètres à résistance plus communément appelés sont basés sur la variation de la résistance électrique d'un métal pour faire varier la température à laquelle celui-ci est soumis.
- ✓ **Thermomètre à résistances semi conductrice** : A l'inverse des résistances métalliques, la résistance d'un semi-conducteur diminue lorsque la température augmente. Ce comportement provient du fait que le nombre de porteurs de charge croît avec la température
- ✓ **Thermomètre à diode** : Une diode est un appareil semi-conducteur qui agit principalement comme commutateur à sens unique de courant. Elle permet au courant de circuler facilement dans une direction, mais restreint fortement le courant de circuler dans la direction opposée.

II.4.3. Capteur de position et de déplacement :

Les capteurs de déplacement servent à mesurer une position, une épaisseur ou un écart. Ils sont utilisés dans de nombreux domaines d'application.

- **Capteur Potentiométrique** : Un capteur potentiométrique est constitué d'une résistance fixe (R_h). Sur cette résistance, se déplace un curseur (c) qui relié mécaniquement à une pièce en mouvement (déplacement à mesurer). La tension mesurée (U_s) entre le curseur et une extrémité de la résistance est proportionnelle au déplacement mécanique.
- **Capteur capacitif** : Un capteur capacitif est un capteur de proximité ou de déplacement, muni d'électrodes sensibles de mesure et d'un condensateur, qui permet de reconnaître sans contact des objets de toutes sortes, métalliques ou non, des fluides ou des verres transparents, et ce, de manière tout à fait fiable.
- **Capteur à proximité inductif** : permettent de détecter tout objet métallique qui se trouve à proximité de la tête de détection.

II.4.4. Capteur de force :

Un capteur de force est un transducteur convertissant une force en un signal électrique mesurable. Bien qu'il existe une variété de capteurs. [1]

- **Capteur à effet Hall**

Un capteur à effet Hall permet de mesurer une variation de champ magnétique. En général on les appelle effet Hall lorsqu'une électronique interne au capteur le rend plus performant en amplifiant ou traitant le signal avant transmission, limitant ainsi les risques de perturbations d'environnement. Ce sont donc des capteurs actifs, nom donné à la catégorie de ceux avec traitement du signal (autant analogique que numérique). Ces actifs ont toujours trois broches minimum. Ce n'est pas un signe distinctif, mais si une tresse de masse protège la liaison et qu'elle est reliée à une broche, ce n'est pas un actif (ils sont très souvent sans tresse de masse). [1]

- **Capteur piézoélectriques :**

L'élément de mesure des capteurs de pression piézoélectriques est un cristal qui produit des charges électriques proportionnelles à la pression appliquée. Cet effet est communément appelé l'effet piézoélectrique. [1]

**Chapitre III: Système de
contrôle de fumées : le
déenfumage par
évacuation mécanique.**

Chapitre III . Les systèmes de sécurité incendie.

III.1 Désenfumage

III.1.1 Définition

Le désenfumage est une fonction de sécurité contre l'incendie. Désenfumer c'est évacuer les fumées que pourrait provoquer un incendie.

Le désenfumage est une technique de reconstitution d'air ambiant dans une zone incendiée. Il consiste ainsi à l'extraction des fumées lors des incendies et de créer un espace viable d'air pur en dessous de l'air carbonisé, Cela permet d'ouvrir des voies d'accès pour évacuer les occupants et souffler dans le volume à protéger et de créer une surpression, exemple: désenfumage des circulations, désenfumage des escaliers.

Les fumées dégagées lors d'un incendie sont par leur opacité, leur toxicité, leur température et leur rapidité à envahir un local, la cause principale des victimes.

III.1.2 Objectif de désenfumage

Le désenfumage aura donc pour objectif :

- De rendre praticables les accès utilisés pour l'évacuation et l'intervention des secours.
- De limiter la propagation de l'incendie en évacuant vers l'extérieur, chaleur, gaz et imbrûlés.
- Limiter l'augmentation de la température à l'intérieur du site C'est le rôle des ventilateurs et volets de désenfumage.

III.1.3 Terminologie

Pour l'application de la présente instruction, on appelle :

- ❖ *Exutoire de fumée* : Dispositif d'évacuation de fumée et de chaleur intégré dans un élément de construction séparant l'intérieur du bâtiment de l'extérieur. Cet élément de construction présente un angle supérieur ou égal à 30° par rapport à la verticale.



Figure III. 1 Exutoire de fumée

- **Surface géométrique d'un exutoire**

Surface d'ouverture mesurée dans le plan défini par la surface de l'ouvrage en son point de contact avec la structure de l'exutoire. Aucune restriction n'est faite pour la surface occupée par les commandes, les lamelles ou autres obstructions.

- **Coefficient aéraulique**

Rapport entre le débit effectif, mesuré dans des conditions spécifiques, et le débit théorique de l'exutoire (C_v). Ce coefficient tient compte des entraves dans l'exutoire telles que les commandes, les lamelles, les traverses, etc., ainsi que de l'effet des vents latéraux.

- **Surface utile d'un exutoire**

Produit de la surface géométrique et du coefficient aéraulique.

- **Ouvrant de désenfumage en façade**

Dispositif d'évacuation de fumée et de chaleur ou d'amenée d'air intégré dans un élément de construction séparant l'intérieur du bâtiment de l'extérieur. Cet élément de construction présente un angle inférieur 30° par rapport à la verticale.

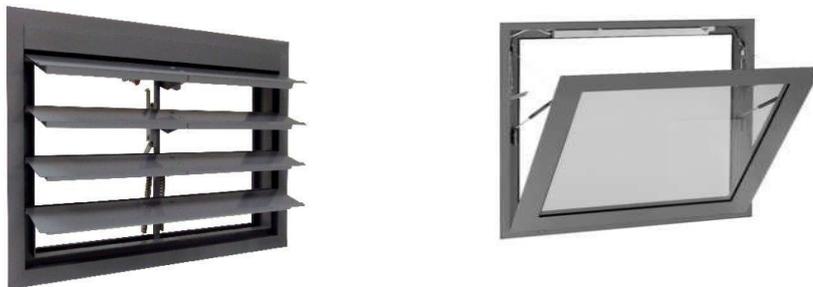


Figure III. 2 Ouvrant de désenfumage en façade.

- **Surface géométrique de l'ouvrant de désenfumage**

Surface libérée par l'ouvrant, au niveau du cadre dormant, lorsqu'il est en position ouverte.

- **Surface libre d'un ouvrant**

Surface réelle de passage de l'air, inférieure ou égale à la surface géométrique d'ouverture, tenant compte des obstacles éventuels (mécanismes d'ouverture, grilles...) à condition que le degré d'ouverture de l'ouvrant soit de 60° au moins, lorsqu'il s'agit d'ouvrants

basculants (relevant ou abattant vers l'intérieur ou l'extérieur, horizontalement ou verticalement) ou Pivotants (horizontalement ou verticalement). Lorsqu'il s'agit d'ouvrants coulissants, la surface libre est la surface dégagée par la partie coulissante. [5]

□ Surface libre calculée d'un ouvrant

La surface verticale, comprise entre la partie supérieure de l'ouvrant en position ouverte et le plafond, doit être au moins égale à la surface tendue entre ouvrant et dormant, sinon cette surface verticale est considérée comme surface tendue. Les triangles latéraux ne peuvent être pris en compte s'il existe un obstacle latéral à une distance inférieure à une 1/2 hauteur d'ouvrant ou si l'espace entre ouvrants est inférieur à cette même distance. Cette surface est limitée à la surface géométrique de l'ouvrant.

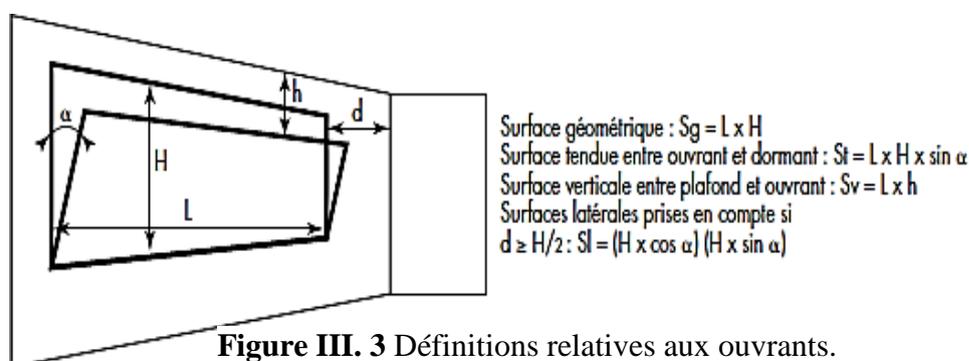


Figure III. 3 Définitions relatives aux ouvrants.

• Surface utile d'un ouvrant

Surface déterminée après essai et tenant compte des déformations éventuelles provoquées par une élévation de température. Toutefois, en attendant la définition de la procédure d'essai, la surface utile sera obtenue en appliquant un coefficient de 0,5 à la surface libre (Ou surface libre calculée) de l'ouvrant.

• Bouche

Orifice d'un conduit d'amenée d'air ou d'évacuation des fumées normalement obturé par un volet.

• Surface géométrique d'une bouche

Surface libérée par le volet au niveau du cadre dormant, lorsqu'il est en position ouverte.

• Surface libre d'une bouche

Surface réelle de passage de l'air, inférieure ou égale à la surface géométrique d'ouverture, tenant compte des obstacles éventuels (mécanismes d'ouverture, grilles...).

- **Volet**

Dispositif d'obturation commanda le à distance placé au droit d'une bouche de désenfumage desservie par un conduit aéraulique. [5]



Figure III. 4 volet de désenfumage.

III.2 Les Types de Désenfumage

Il existe deux types principaux de désenfumage, le désenfumage naturel et le désenfumage mécanique.

A. Désenfumage naturel

- **Principe de fonctionnement**

Le désenfumage par tirage naturel est réalisé par des évacuations de fumée et des amenées d'air naturelles communiquant soit directement, soit au moyen de conduits, avec l'extérieur et disposées d'une manière à assurer un balayage satisfaisant du volume concerné.

- **Extraction des fumées**

Elles peuvent être de 3 natures différentes :

- ouvrant de façade appelée DENFC : dispositif d'évacuation naturelle de fumées ou de chaleurs, implanté en façade ou en toiture.
- exutoires en toiture appelé DENFC.
- bouches, raccordées ou non à des conduits.

Aucune ouverture ne doit avoir une de ses dimensions inférieures à 0,20 m.

- **Amenées d'air**

Les aménages d'air sont réalisés soit :

- par des ouvrants en façade ;
- par les portes des locaux à désenfumer donnant sur l'extérieur ou sur des volumes pouvant être largement aérés ;
- par des escaliers non en cloisonnés ;
- bouches (raccordées ou non à des conduits)

Exceptionnellement, des aménages d'air mécaniques peuvent être utilisés, mais elles ne peuvent être associées qu'à des évacuations de type exutoires ou ouvrants de façade.

- **Caractéristiques des conduits**

Les conduits doivent répondre aux dispositions suivantes :

- leur section doit être au moins égale à la surface libre des bouches qu'ils desservent par niveau.
- le rapport de la plus grande à la plus petite dimension de leur section doit être inférieur ou égal à 2.

Les conduits doivent être réalisés en matériaux de catégorie M0 ou A2 s2 d0 et être stables au feu de degré 1/4 h.

- **Conduits d'insufflation**

Doivent assurer un coupe-feu de traversée équivalent à celui des parois des locaux qu'ils traversent. Ils sont considérés comme des conduits de ventilation et sont testés selon la norme Européenne 1366-1. [5]

- **Conduits d'évacuation de fumées**

Essai feu intérieur. Ils sont considérés comme des conduits de désenfumage et sont testés selon la norme d'essai européenne 1366-8. [5]

Ces exigences peuvent être assurées par la gaine dans laquelle ils sont placés, à condition qu'ils soient seuls dans cette gaine et que celle-ci présente une résistance au feu identique à celle des parois traversées.

- Les conduits verticaux d'évacuation peuvent comporter au plus deux dévoiements dont l'angle avec la verticale n'excède pas 20 degrés. La longueur des raccordements horizontaux d'étage des conduits d'évacuation, dits traînasses, ne doit pas excéder 2m, à moins de

justifier d'un débit suffisant. Le calcul de justification est effectué pour des fumées à 70°C, une température extérieure de + 15°C et en l'absence de vent. [5]

• **Implantation des évacuations de fumées et des amenées d'air**

- Les amenées d'air et les évacuations de fumées doivent être implantées en prenant en compte, dans la mesure du possible, de l'orientation des vents dominants. Les évacuations de fumées doivent être implantées de manière à ce qu'aucun élément de construction ou aménagement ne gêne l'écoulement des fumées.

- Les débouchés des exutoires et des conduits d'évacuation doivent se trouver en dehors des parties de Couverture pour lesquelles une protection particulière est demandée. Ces débouchés doivent être situés à une distance horizontale de 4 m au moins des baies des bâtiments tiers. Si ces distances ne peuvent être respectées, toutes dispositions (auvents...) doivent être prises pour éviter la propagation de l'incendie.

-La distance du débouché des exutoires et conduits de désenfumage naturel par rapport aux obstacles plus élevés qu'eux doit être au moins égale à la hauteur de ces obstacles, avec une distance maxi exigible de 8m.

-Les prises d'air neuf ne peuvent pas être situées dans une zone susceptible d'être enfumée. [5]

• **Caractéristiques des bouches et volets**

-Volets PF (pare-flammes) pour les amenées d'air, CF (coupe-feu) pour les évacuations de fumées, réalisés en matériaux incombustibles et d'un degré de résistance au feu égal à celui des conduits.

-Si conduit collecteur type Shunt, le volet d'extraction doit être seulement PF 1/4H.

-Si le conduit ne dessert qu'un seul niveau, le volet n'est pas obligatoire. S'il existe, aucune exigence ne lui est imposée.

-Le rapport entre grande et petite section doit être inférieur ou égal à 2.

• **Dispositifs de déclenchement**

Le dispositif de déclenchement doit être assuré par une ou des commandes manuelles ou automatiques. La commande automatique doit toujours être doublée par une commande manuelle. Dans les bâtiments protégés par une installation fixe d'extinction automatique à

eau, pendant la présence du public, le désenfumage doit pouvoir être commandé avant l'ouverture de l'extinction automatique.

Le dispositif de déclenchement doit assurer :

- l'ouverture des bouches et exutoires dans le volume concerné,
- l'arrêt des ventilations mécaniques, à l'exception de la VMC, à moins qu'elles ne participent au désenfumage.

La commande automatique doit être déclenchée par des détecteurs sensibles aux fumées ou aux gaz de combustion du niveau, canton, secteur ou compartiment sinistré. Ce déclenchement interdit la commande automatique des dispositifs de désenfumage des autres parties du bâtiment desservi par le même réseau de désenfumage tant que n'a pas disparu la cause l'ayant provoqué. Toutefois, la commande manuelle doit rester possible dans ces autres parties du bâtiment.

En SSI de catégorie A ou B, la commande manuelle est disposée sur la face avant du CMSI. Les DCM/DAC sont positionnés près des locaux avec accès par commande à clé (vitre à briser supprimée). [5]

• Les inconvénients de désenfumage naturel

Le désenfumage naturel n'est pas toujours approprié :

- problèmes de confort lié aux ouvrants.
- mauvais contrôle des phénomènes atmosphériques (vent, périodes de chaleur avec effet thermique négatif sur le tirage ...)
- mauvais fonctionnements dus aux intempéries (accumulation de neige ...)

B. Désenfumage mécanique

• Principe de fonctionnement

Le désenfumage mécanique est assuré par des extractions mécaniques de fumées et des amenées d'air naturelles ou mécaniques, disposées de manière à assurer un balayage du volume à désenfumer. Ce balayage peut être complété par une mise en surpression relative aux espaces à mettre à l'abri des fumées.

Si un local est ventilé en permanence (renouvellement d'air, chauffage ou conditionnement d'air), son système de ventilation peut être utilisé pour le désenfumage dans la mesure où il répond aux conditions. [5]

- **Extraction des fumées**

L'extraction des fumées est réalisée par des bouches raccordées à un ventilateur d'extraction.

- **Amenées d'air**

Les amenées d'air mécaniques sont réalisées par des bouches raccordées à un ventilateur de soufflage.

-Les amenées d'air naturelles sont réalisées :

- soit par ouvrants en façade ;
- soit par les portes des locaux à désenfumer donnant sur l'extérieur ou sur des volumes pouvant être largement aérés ;
- soit par des escaliers non en cloisonnés.
- soit par des bouches.

- **Caractéristiques des conduits**

Les caractéristiques des conduits d'amenées d'air naturel sont identiques à la partie désenfumage naturel.

Pour les conduits d'amenée d'air et d'extraction mécanique la réaction et la résistance au feu sont les mêmes qu'en désenfumage naturel. Ces exigences peuvent être assurées par la gaine dans laquelle les conduits sont placés s'ils sont seuls dans cette gaine et si elle présente une résistance au feu identique. Les débits de fuite doivent être < à 20% du débit exigé au niveau le plus défavorisé. [5]

- **Implantation des conduits**

Les débouchés des exutoires et des conduits d'évacuation doivent se trouver en dehors des parties de couverture pour lesquelles une protection particulière est demandée. Ces débouchés doivent être situés à une distance horizontale de 4 m au moins des baies des bâtiments tiers. Si ces distances ne peuvent être respectées, toutes dispositions doivent être prises pour éviter la propagation de l'incendie. Les prises d'air neuf ne peuvent pas être situées dans une zone susceptible d'être enfumée. [5]

- **Bouches et volets**

-La vitesse de passage de l'air aux amenées d'air doit toujours être inférieure à **5 m/s**. Les amenées d'air naturelles doivent être dimensionnées pour la totalité du débit extrait. Les

amenées d'air mécaniques doivent avoir un débit de l'ordre de 0,6 fois le débit extrait.

-Note : les mesures de débit sont faites à température ambiante.

-Volets PF pour les amenées d'air, CF pour évacuations de fumées, réalisés en matériaux incombustibles et d'un degré de résistance au feu égal à celui des conduits.

Si conduit collecteur type Shunt, le volet d'extraction doit être seulement PF 1/4H.

Si le conduit ne dessert qu'un seul niveau, le volet n'est pas obligatoire. S'il existe, aucune exigence ne lui est imposée.

-Dans le cas où un système de ventilation est utilisé en désenfumage, l'obturation des bouchesouvertes en fonctionnement normal doit faire l'objet d'une étude particulière dont le but est d'éviter l'enfumage des niveaux non sinistrés. [5]

- **Caractéristiques des ventilateurs**

-Les ventilateurs de soufflage et d'extraction doivent être dimensionnés en fonction des caractéristiques du réseau desservi et pour un débit égal au débit nominal augmenté du débit de fuite tolérable (de l'ordre de 20%).

-La mesure des débits définis dans la présente instruction technique se fait à la température ambiante.

-Les ventilateurs d'extraction et leur liaison avec les conduits doivent assurer leurs fonctions pendant **1h** avec des fumées à **400° C**.

-La liaison entre le ventilateur d'extraction et le conduit doit être en matériau incombustible (Catégorie M0 ou A2 s2 d0).

- Ces exigences ne concernant pas les ventilateurs de soufflages.

-L'état ouvert ou fermé du sectionneur des moteurs de désenfumage doit être reporté au poste de sécurité ou en un endroit habituellement surveillé.

-Les canalisations électriques alimentant les ventilateurs de désenfumage doivent répondre aux dispositions des articles.

-Les ventilateurs d'extraction doivent être installés soit à l'extérieur du bâtiment, soit dans un local technique séparé des volumes adjacents par des parois CF de degré 1 heure. La porte d'accès sera CF de degré 1/2 heure et équipé d'un ferme-porte.

-La ventilation du local sera compatible avec le fonctionnement des différents matérielsinstallés dans ce local. [5]

- **Alimentation électrique de sécurité (AES)**

-Les ventilateurs de désenfumage doivent disposer d'une source d'alimentation électrique de sécurité.

-Toutefois, dans certains établissements de 3e et 4e catégorie, et pour de petites installations dans des établissements de 1ere et 2e catégorie, cette alimentation de sécurité n'est pas exigéesous réserve que l'alimentation soit réalisée par une dérivation issue directement du tableau principal et soit protégée de façon à ne pas être affectée par un incident survenant sur les autres circuits.

-Les canalisations électriques alimentant les ventilateurs ne doivent pas comporter de protection contre les surcharges, mais seulement contre les courts-circuits. En conséquence,

Elles doivent être dimensionnées en fonction des plus fortes surcharges que peuvent supporter les moteurs. [5]

- **Dispositifs de déclenchement**

-Le dispositif de déclenchement doit être assuré par une ou des commandes manuelles ou automatiques.

-La commande automatique doit toujours être doublée par une commande manuelle.

-Dans les bâtiments protégés par une installation fixe d'extinction automatique à eau, pendant la présence du public, le désenfumage doit pouvoir être commandé avant l'ouverture de l'extinction automatique.

Le dispositif de déclenchement doit assurer :

- l'ouverture des bouches et exutoires dans le volume concerné,
- l'arrêt des ventilations mécaniques, à l'exception de la VMC, à moins qu'elles ne participent au désenfumage.

-La commande automatique doit être déclenchée par des détecteurs sensibles aux fumées ou aux gaz de combustion du niveau, canton, secteur ou compartiment sinistré ; Ce déclenchement interdit la commande automatique des dispositifs de désenfumage des autres parties du bâtiment desservi par le même réseau de désenfumage tant que n'a pas disparu la cause l'ayant provoqué.

-Toutefois, la commande manuelle doit rester possible dans ces autres parties du bâtiment. Le dispositif de déclenchement doit assurer la mise en route des ventilateurs de désenfumage. Cette mise en route ne doit pas être assurée par les contacts de fin de course des volets.

III.3 Application des systèmes de désenfumage

On distingue trois applications des systèmes de désenfumage :

- Le désenfumage des escaliers.
- Le désenfumage des circulations horizontales.
- Le désenfumage des grands volumes et des locaux de dimensions moyennes.

A-Désenfumage des escaliers en cloisonnés

A-1 Désenfumage par balayage naturel

Le balayage naturel d'un escalier est réalisé par ouverture d'un exutoire d'une surface géométrique de 1 m^2 ou d'un ouvrant de désenfumage d'une surface libre identique, situé en partie haute de la cage, et d'une amenée d'air d'une surface égale, située en partie basse de la cage.

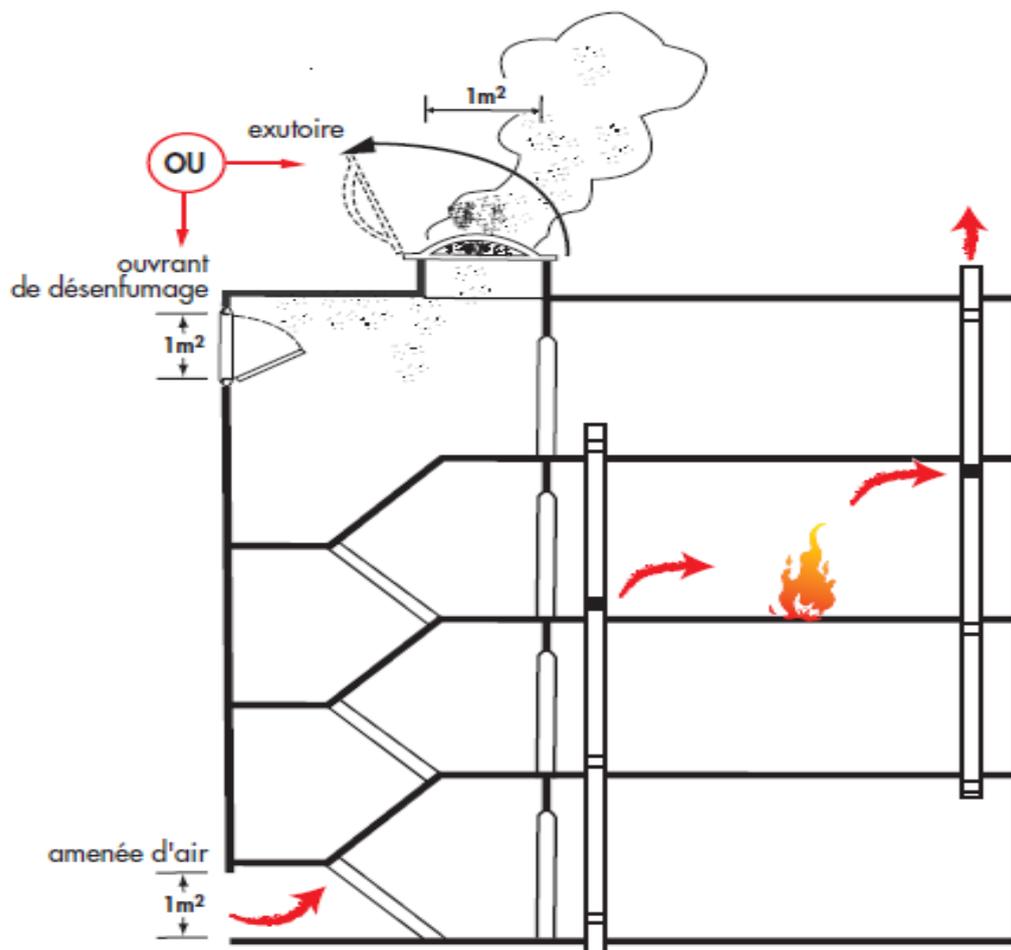


Figure III. 5 Désenfumage par balayage naturel.

Le dispositif de commande de ce système de désenfumage est situé au niveau bas de la cage d'escalier. En exploitation normale, le réarmement (fermeture) doit être possible depuis le niveau bas de l'escalier ou depuis le dernier palier. Si l'amenée d'air est assurée par une porte, celle-ci ne constitue pas un DAS au titre du désenfumage.

A-2 Mise en surpression

-Lorsque, exceptionnellement, le désenfumage naturel ne peut être assuré, l'escalier doit être mis en surpression par soufflage mécanique obligatoirement associé au désenfumage du volume en communication directe avec l'escalier. [5]

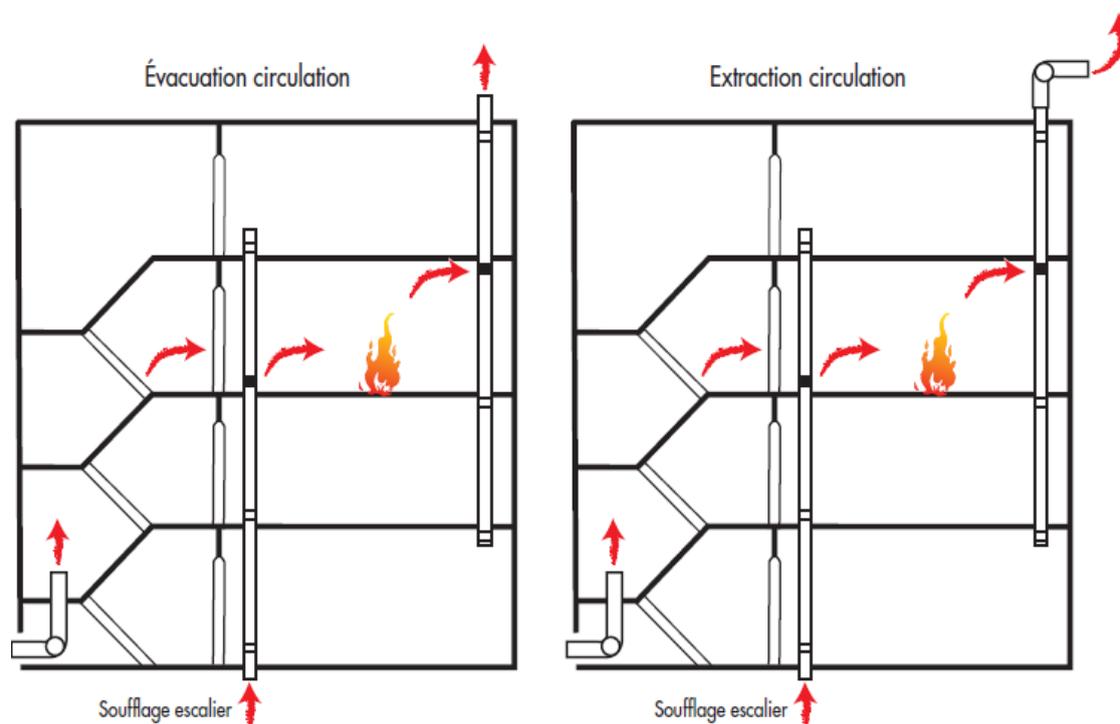


Figure III. 6 Mise en surpression .

-La surpression doit être réalisée en même temps que le désenfumage de ce volume et mise en route par la commande du désenfumage.

-La surpression réalisée doit être comprise entre **20** et **80 Pa**. Ces valeurs s'entendent toutes portes de l'escalier fermées.

-Le débit doit être tel qu'il assure une vitesse de passage de l'air supérieure ou égale à **0,5 m/s** à travers la porte d'accès au niveau sinistré, les portes des autres niveaux étant fermées. [5]

B- Désenfumage des circulations en cloisonnées

B-1 Désenfumage par balayage naturel

Le balayage naturel des circulations horizontales en cloisonnées doit être réalisé dans les conditions prévues au désenfumage naturel, conformément aux règles suivantes :

- les amenées d'air et les évacuations de fumée sont réparties de façon alternée, en quinconce ou non, en tenant compte de la localisation des risques. [1]

- Les amenées d'air sont au moins aussi nombreuses que les évacuations.

- La distance horizontale entre amenée et évacuation, mesurée suivant l'axe de la circulation, ne doit pas excéder **10 m** dans le cas d'un parcours rectiligne et **7 m** dans le cas contraire. Lorsqu'une bouche d'évacuation de fumée est desservie par deux bouches d'amenée d'air, les distances entre bouches doivent être sensiblement équivalentes ;

- toute porte d'un local accessible au public, non située entre une amenée d'air et une évacuation de fumée, doit être distante de **5m** au plus de l'une d'elles ;

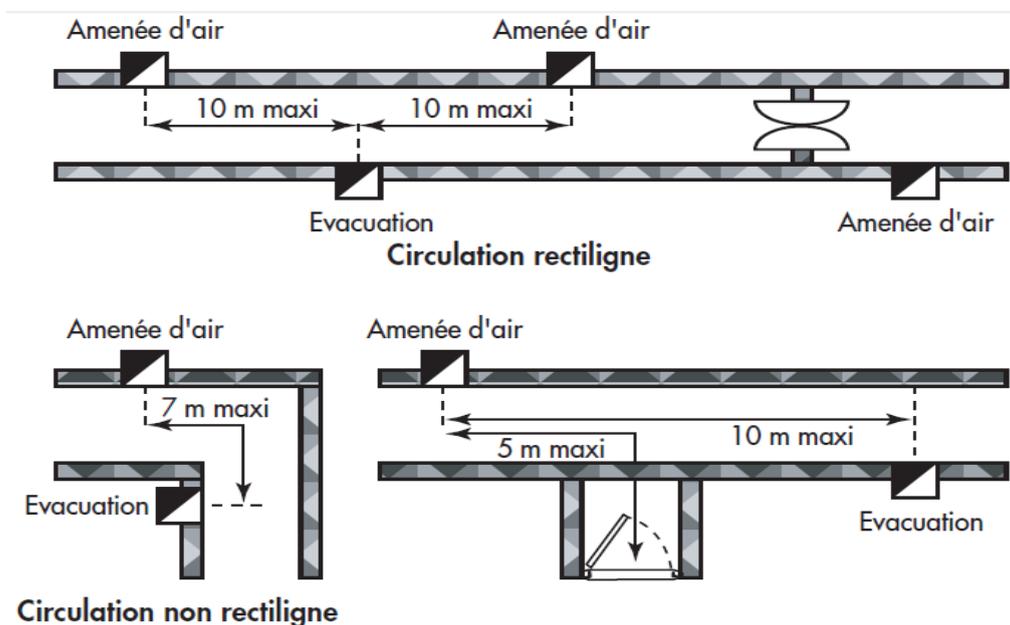


Figure III. 7 Exemples d'implantation des bouches de désenfumage.

- chaque amenée d'air et chaque évacuation de fumée ont une surface libre minimum de 10dm² par unité de passage réalisée de la circulation (UP entière arrondie à la valeur la plus

proche) ;

- les bouches d'amenée d'air doivent avoir leur partie haute à **1 m** au plus au-dessus du plancher, elles sont de préférence implantées à proximité des portes de recouplement et des portes d'accès aux escaliers ;
- les bouches d'évacuation des fumées doivent avoir leur partie basse à **1,80 m** au moins au-dessus du plancher et être situées en totalité dans le tiers supérieur de la circulation ;

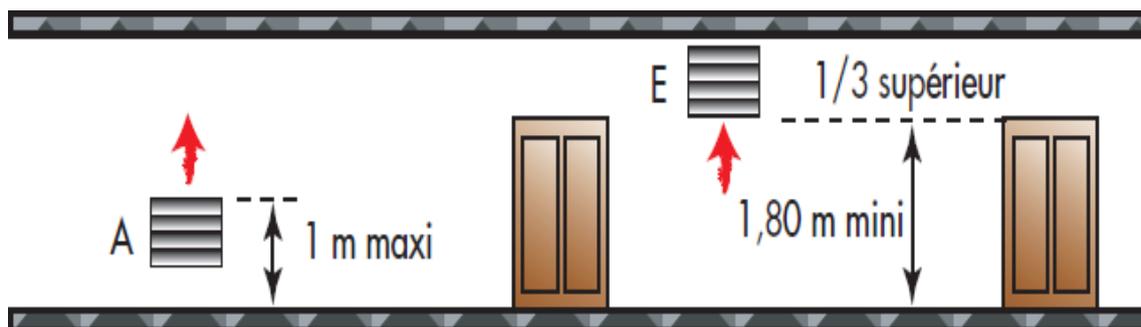


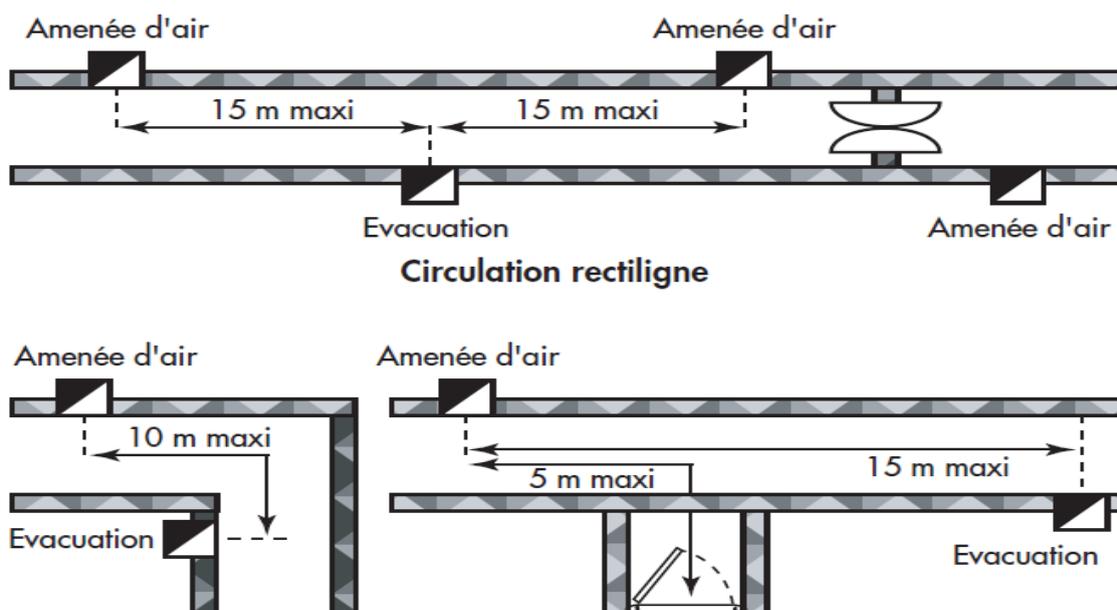
Figure III. 8 Implantation des bouches de désenfumage.

- au même niveau, plusieurs circulations ou tronçons de circulation ne peuvent être desservis par le même réseau, à moins qu'ils ne constituent qu'une seule zone de désenfumage.

B-2 Désenfumage mécanique avec amenée d'air neuf mécanique

Le désenfumage mécanique des circulations horizontales en cloisonnées doit être réalisé, dans les conditions prévues au désenfumage mécanique, conformément aux règles suivantes :

- les bouches d'amenée d'air et d'extraction de fumée sont réparties de façon alternée, en quinconce ou non, en tenant compte de la localisation des risques ;
- la distance horizontale entre amenée et extraction, mesurée suivant l'axe de la circulation, ne doit pas excéder **15 m** dans le cas d'un parcours rectiligne et **10 m** dans le cas contraire. Lorsqu'une bouche d'extraction de fumée est desservie par deux bouches d'amenée d'air, les distances entre bouches doivent être sensiblement équivalentes ;



Circulation non rectiligne

Figure III. 9 Exemples d'implantation des bouches de désenfumage mécanique.

- les bouches d'amenée d'air doivent avoir leur partie supérieure à **1 m** au plus au-dessus du plancher, elles sont de préférence implantées à proximité des portes de recoupement et des portes d'accès aux escaliers.

- les bouches d'extraction de fumée doivent avoir leur partie basse à **1,80 m** au moins au-dessus du plancher et doivent être situées en totalité dans le tiers supérieur de la circulation ;

- toute section de circulation comprise entre une bouche d'extraction des fumées et une bouche d'amenée d'air doit être balayée par un débit d'extraction au moins égal à 0,5 m³/s par unité de passage réalisée (UP entière arrondie à la valeur la plus proche) de la circulation,

-toutefois le débit total extrait dans une circulation (ou portion de circulation recoupée) est limité à **8m³/s**.

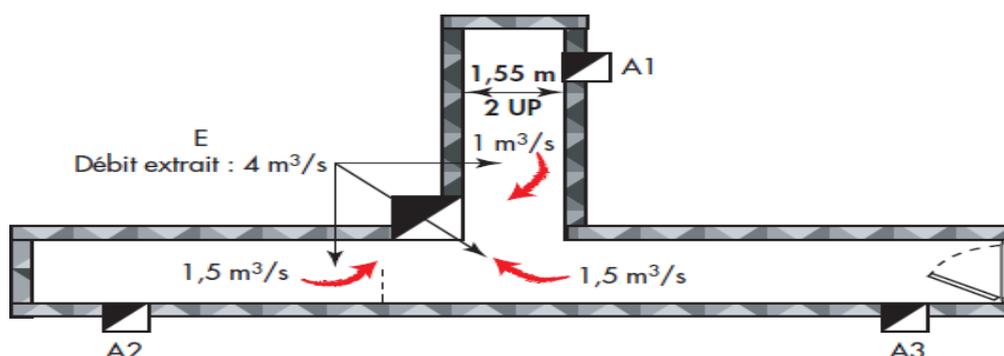


Figure III. 10 Débits et sections minimales en désenfumage mécanique.

- lors du fonctionnement du système de désenfumage, la différence de pression entre la cage d'escalier et la circulation désenfumée doit être inférieure à **80 Pa**, toutes les portes de l'escalier étant fermées ;
- au même niveau, plusieurs circulations ou tronçons de circulation ne peuvent être desservis par le même réseau (conduits et ventilateurs) à moins qu'ils ne constituent qu'une seule zone de désenfumage. [5]

Tableau III. 1 Récapitulatif de la sélection des volets de désenfumage en circulation.

| Insufflation | Extraction | |
|--------------|---------------------------------------|--|
| | Naturel | Mécanique |
| Naturel | $Sl = 10 \text{ dm}^2 \text{ par UP}$ | $Q_e = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{UP}$ $Q_i = Q_e$ $V_s \leq 5 \text{ m/s}$ |
| Mécanique | Impossible | $Q_e = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{UP}$ $Q_i = 0.6 \times Q_e$ $V_s \leq 5 \text{ m/s}$ |

- Q_e = débit d'extraction en m^3/h .

- Q_i = débit d'insufflation en m^3/h .

- V_s = vitesse de soufflage (insufflation) en m/s .

- Sl = Surface libre des volets de désenfumage en dm^2 par UP

Définition unité de passage (UP)

La notion d'unité de passage, souvent nommée par ses initiales **UP**, est utilisée dans les textes faisant référence aux évacuations des établissements recevant du public (ERP). En cas d'incendie, par exemple, le public doit pouvoir sortir du bâtiment dans les plus brefs délais. [5]

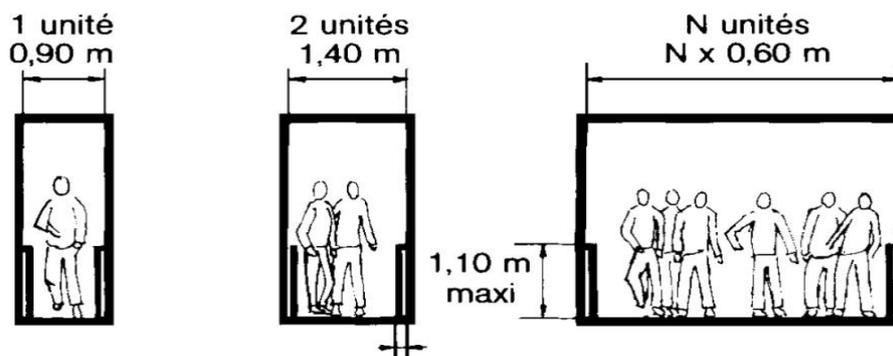


Figure III. 11 exemple des unités de passage des personnes.

C- Désenfumage des locaux accessible au publique

-Lorsque le désenfumage des locaux est imposé par les dispositions particulières à chaquetype d'établissement, il peut être réalisé soit par tirage mécanique, soit par tirage naturel.

-Le désenfumage des locaux non accessibles au public n'est pas imposé, sauf dans les casprévus par le règlement de sécurité. [5]

• Terminologie

Pour le désenfumage naturel des locaux, on utilise la notion de surface utile des évacuationsde fumée et de canton de désenfumage.

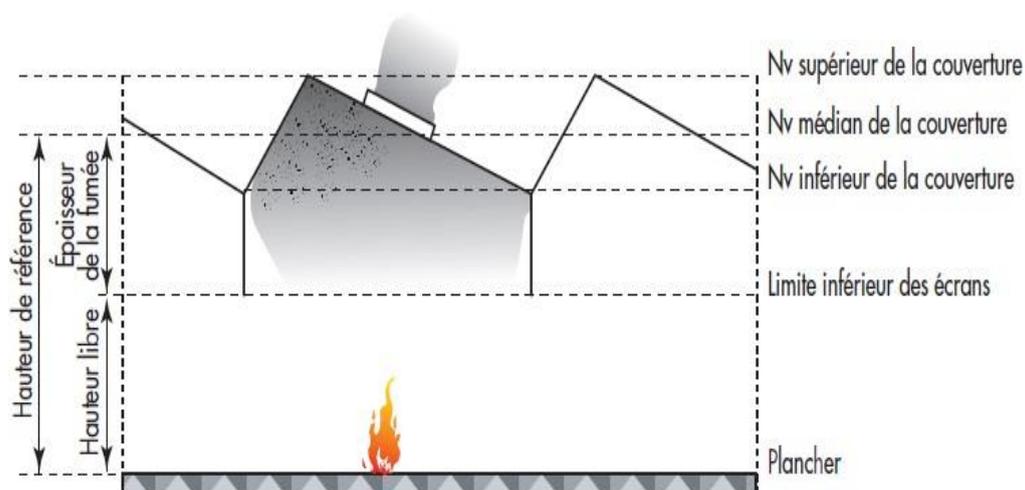


Figure III. 12 Terminologie.

• Écran de cantonnement

Séparation verticale placée sous la toiture ou le plafond de façon à s'opposer à l'écoulement latéral des fumées et des gaz de combustion.

• Canton de désenfumage

Volume libre compris entre le plancher bas et le plancher haut ou la toiture, et délimité par les écrans de cantonnement. Superficie d'un canton de désenfumage : superficie obtenue par projection horizontale du volume du canton.

• Superficie d'un canton de désenfumage

Superficie obtenue par projection horizontale du volume du canton.

- **Hauteur de référence (H)**

Moyenne arithmétique des hauteurs du point le plus haut et du point le plus bas de la couverture, du plancher haut ou du plafond suspendu, mesurée à partir de la face supérieure du plancher. Il n'est pas tenu compte du plafond suspendu s'il comporte plus de 50 % de passage libre et si le volume compris entre couverture et plafond suspendu n'est pas occupé à plus de 50 %. La plus petite dimension des orifices du plafond suspendu est de 5 mm.

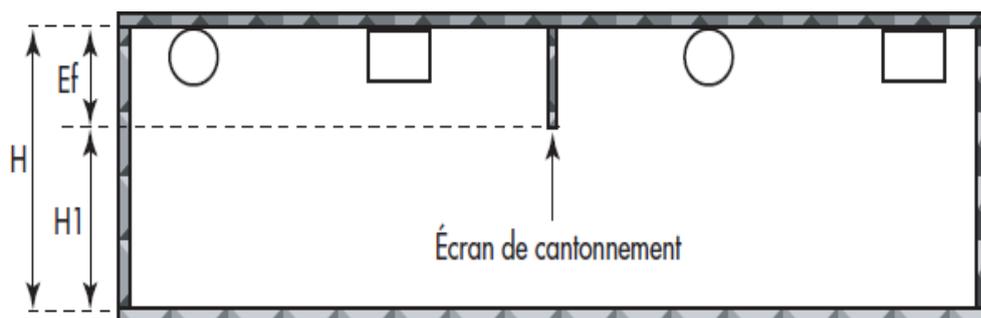


Figure III. 13 Plafond suspendu comportant plus de 50 % de passage

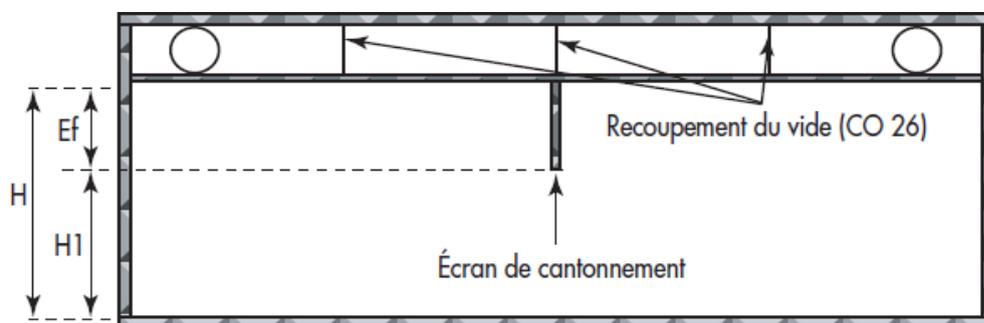


Figure III. 14 Plafond suspendu ne comportant pas 50 % de passage libre.

- **Hauteur libre de fumée (HI)**

Hauteur de la zone située au-dessous des écrans de cantonnement ou, à défaut d'écran, au-dessous de la couche de fumée et compatible avec l'utilisation du local.

- **Épaisseur de la couche de fumée (EF) :**

Différence entre la hauteur de référence et la hauteur libre de fumée.

- **Cantons de désenfumage et retombées sous toiture**

En complément des dispositions relatives au désenfumage naturel, les installations de désenfumage des locaux doivent respecter les prescriptions suivantes :

- les locaux de plus de 2 000 m² de superficie ou de plus de 60 m de longueur sont découpés en cantons de désenfumage aussi égaux que possible d'une superficie maximale de 1600m². La longueur d'un canton ne doit pas dépasser 60 m. Ces cantons ne doivent pas, autant que possible, avoir une superficie inférieure à 1 000 m².

Les cantons sont délimités par des écrans de cantonnement ou par la configuration du local et de la toiture ;

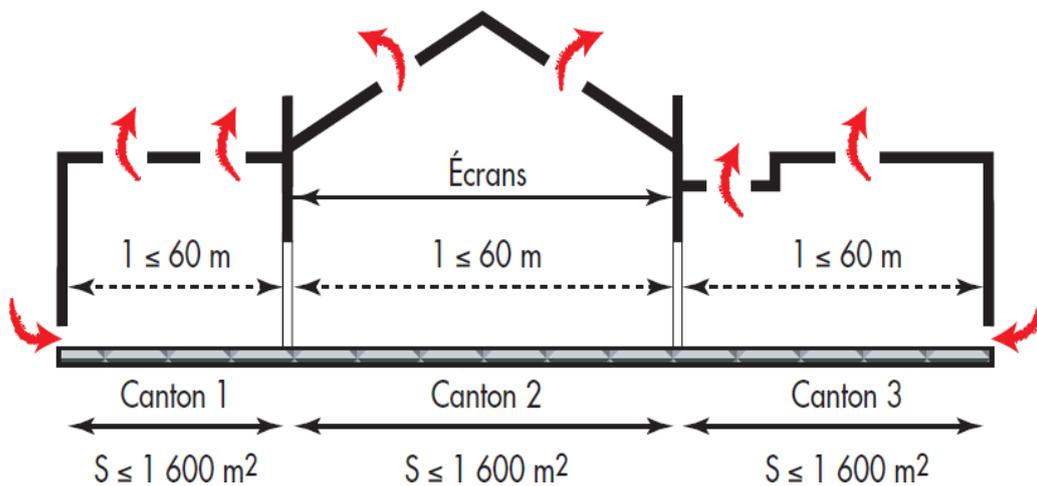


Figure III. 15 Découpage d'un local en cantons.

- le bord inférieur des écrans est normalement horizontal. Toutefois, lorsque la pente des toitures et des plafonds est supérieure à 30 %, les écrans de cantonnement ne doivent pas s'opposer à l'écoulement naturel des fumées mais les canaliser vers les exutoires. Si ces écrans sont implantés parallèlement à la ligne de pente, on retiendra leur, plus petite hauteur comme épaisseur de la couche de fumée. [5]

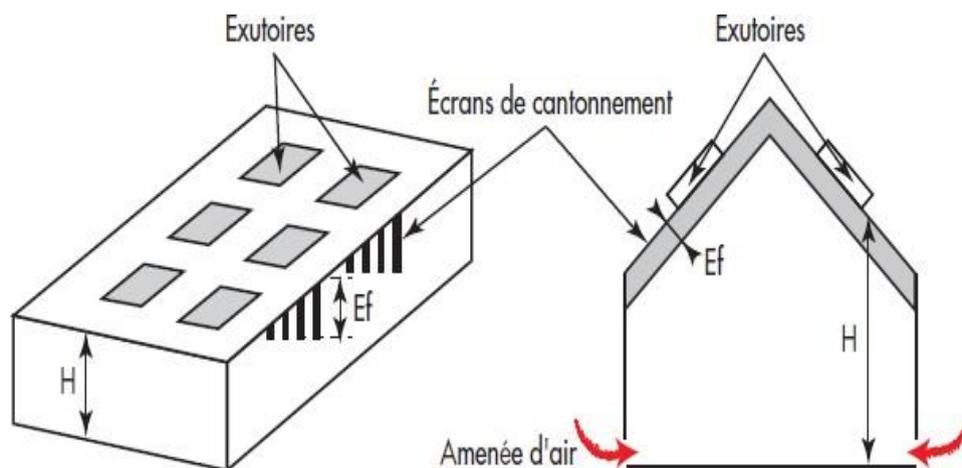


Figure III. 16 Écrans de cantonnement.

De plus, des écrans de cantonnement doivent s'opposer au mouvement des fumées vers les trémies mettant en communication plusieurs niveaux, si ces trémies ne participent pas au désenfumage. Un écran de cantonnement est constitué :

- Soit par des éléments de structure (couverture, poutres, murs) ;
- Soit par des écrans fixes, rigides ou flexibles, stables au feu de degré 1/4 heure ou DH 30 et en matériau de catégorie M1 ou B s3 d0 ;

-Soit par des écrans mobiles (DAS), rigides ou flexibles, SF de degré 1/4 heure ou DH 30 et en matériau de catégorie M1 ou B s3 d0.

La hauteur libre de fumée est au moins égale à la moitié de la hauteur de référence ; elle est toujours plus haute que le linteau des portes et jamais inférieure à 1,80 m. L'épaisseur de la couche de fumée est au moins égale à :

- **25 %** de la hauteur de référence (H), lorsque celle-ci est inférieure ou égale à **8 m** ;
- **2 m**, lorsque la hauteur de référence est supérieure à **8 m**.

Toutefois, cette épaisseur peut être réduite afin de respecter les hauteurs libres de fumée minimales. Cette réduction entraîne une augmentation de la surface d'évacuation des fumées et nécessite un calcul du taux α (voir annexe). Pour les locaux d'une hauteur de référence supérieure à 8 m et dont la plus grande dimension n'excède pas 60 m, on peut admettre l'absence d'écran de cantonnement. Dans ce cas, le calcul du taux α est effectué avec une épaisseur de fumée de un mètre. [5]

C-1 Désenfumage naturel des locaux

Ecran de cantonnement : Séparation verticale en sous face de la toiture ou du plafond pour s'opposer à l'écoulement latéral des fumées.

Canton de désenfumage : Volume libre compris entre le plancher et le plafond, ou faux plafond, ou toiture.

Surface < 1600 m² – Longueur < 60m.

- Les surfaces d'évacuation des fumées doivent se situer dans la zone enfumée.
- Les surfaces d'amenées d'air doivent être dans la zone libre de fumées.
- S des amenées d'air = S des évacuations de fumée
- Si les locaux divisés en cantons, l'amenée d'air est possible par cantons périphériques.
- Si pente toiture < 10%, tout point doit être < 7 x la hauteur moyenne sous plafond et < 30 m.
 - Si pente toiture > 10%, évacuations de fumées situées le plus haut possible, H > hauteur moyenne sous toiture.

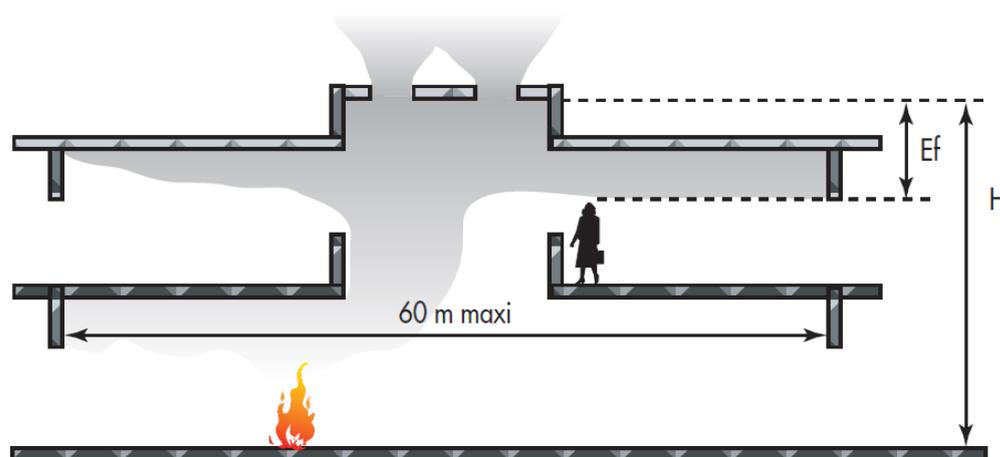


Figure III. 17 désenfumage des deux niveaux.

C-2 Désenfumage mécanique des locaux

Les locaux sont, comme en désenfumage naturel, découpés en cantons :

- H des écrans de cantonnement > 0,5 m.
- Bouches d'extraction de fumées raccordées au ventilateur d'extraction.
- Un ventilateur peut desservir l'ensemble des bouches de 2 cantons au maximum, dans ce cas, débit total = débit exigé pour le plus grand canton.
- Minimum 1 bouche pour 320 m², débit > 1 m³/s pour 100 m². Mini = 1,5 m³/s par local. [5]

Chapitre IV:

Partie pratique

Chapitre IV . Partie pratique.

Méthodes d'analyse des risques et application AMDEC

IV.1. Introduction :

L'analyse des risques est une étape essentielle de la gestion des projets innovants et toute discipline est caractérisée par son objet d'étude et sa démarche ou méthode. La méthode est une démarche organisée et rationnelle de l'esprit pour arriver à un certain résultat. Elle est également caractérisée par son aspect quantitatif et qualitatif et en fonction du type de risque étudié. [6]

IV.1.1.Méthode déductive :

Dans une approche déductive, le système est supposé défaillant et l'analyse porte sur l'identification des causes susceptibles de conduire à cet état. On part alors des effets pour remonter aux causes. L'arbre des défaillances constitue une des principales méthodes déductives. [6]

IV.1.2.Méthode inductive :

Une défaillance ou une combinaison de défaillances est à l'origine de l'analyse. Il s'agit alors d'identifier les conséquences de cette ou ces défaillances sur le système ou son environnement. On dit généralement que l'on part des causes pour identifier les effets. [6]

IV.2. Domaines d'application :

Les outils d'analyse des risques doivent être choisis en fonction des caractéristiques des installations à étudier et du niveau de détail rechercher.

Bien entendu, le domaine d'application et le niveau de détail sont également fonction des compétences et de l'expérience des personnes qui mèneront ce travail. En d'autres termes, certains outils peuvent être adaptés afin d'être utilisés dans un domaine d'application sensiblement différent de leur domaine d'origine [21].

Ces différentes informations sont synthétisées dans le tableau suivant, pour les principales méthodes d'analyse des risques dans le domaine des risques accidentels.

Les différents éléments présentés ci-avant ont été reportés dans le tableau suivant afin de bien différencier les possibilités offertes par les différents outils présentés dans ce document. [6]

Tableau IV. 1 Critères de choix pour les plus importantes méthodes d’analyse des risques.

| <u>Méthodes</u> | <u>Approche</u> | <u>Défaillances envisagées</u> | <u>Niveau de détail</u> | <u>Domaines d’application privilégiés</u> |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---|
| <u>APR</u> | <u>Inductive</u> | <u>Indépendantes</u> | <u>+</u> | <u>Installations les moins complexes</u> <u>Etape préliminaire d’analyse</u> |
| <u>HAZOP / What-if</u> | <u>Inductive</u> | <u>Indépendantes</u> | <u>++</u> | <u>Systèmes thermo-hydrauliques</u> |
| <u>AMDEC</u> | <u>Inductive</u> | <u>Indépendantes</u> | <u>++</u> | <u>Sous-ensembles techniques bien délimités</u> |
| <u>Arbre d’évènement</u> | <u>Inductive</u> | <u>Combinées</u> | <u>+++</u> | <u>Défaillances préalablement identifiées</u> |
| <u>Arbre de défaillance</u> | <u>Déductive</u> | <u>Combinées</u> | <u>+++</u> | <u>Evénements redoutés ou indésirables préalablement identifiés</u> |
| <u>Nœud papillon</u> | <u>Inductive</u> <u>Déductive</u> | <u>Combinées</u> | <u>+++</u> | <u>Scénarios d’accidents jugés les plus critiques</u> |

IV.3. Méthode AMDEC

IV.3.1.Introduction

Parmi les outils et techniques de prévention des problèmes potentiels, la méthode AMDEC s’avère une méthode simple et très efficace. AMDEC est l’acronyme de « Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et leur criticité » (Failure Mode and Effects and Criticality Analysis, FMECA). Cette technique a pour but d’étudier, d’identifier, de prévenir ou au moins de réduire les risques de défaillances d’un système, d’un processus, d’un produit.

L’Association française de normalisation (Afnor) définit l’AMDEC comme étant "une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d’un système"¹. La méthode consiste à examiner méthodiquement les défaillances potentielles des systèmes (analyse des modes de défaillance), leurs causes et leurs conséquences sur le fonctionnement de l’ensemble (les effets). Après une hiérarchisation des défaillances potentielles, basée sur l’estimation du niveau de risque de défaillance, soit la criticité, des actions prioritaires sont déclenchées et suivies.

En effet cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des

interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Les informations obtenues sont utilisées dans le cadre de la maîtrise des risques, avec préoccupation principale l'obtention d'un bon niveau de sûreté de fonctionnement du système opérationnel.

Elle permet de :

- Connaître les éléments (fonctions et constituants) les plus importants ;
- Découvrir, évaluer et classer les faiblesses, les anomalies et les dysfonctionnements de système ;
- Gérer les points critiques et remettre en cause même la conception de système ;
- Préconiser les mesures correctives ;
- Évaluer les effets de ces mesures pour s'assurer de leurs efficacités, et pour les comparer et décider.

Dans cette optique et à la lumière de ces points, l'AMDEC occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre de pannes, facilement maintenable car elle permet la maîtrise des éléments et leurs fonctions, disponible parce qu'elle permet d'agir sur les éléments critiques, sécurisant car elle permet de dominer les défaillances et en particulier les défaillances critiques et catastrophiques.

Les objectifs de ce travail sont :

- D'apporter une aide pratique à l'identification des différents types de dysfonctionnements,
- D'appliquer la méthode AMDEC sur le système de chauffage centrale de la faculté.
- De chercher et analyser les différentes défaillances qui peuvent rencontrés dans le système, expliquer et évaluer leurs effets, causes et leur criticité,
- De proposer des solutions préventives et correctives de lutte contre les dysfonctionnements probables et assurer une bonne continuité du fonctionnement du système. [7]

IV.3.2.Diagnostic

Le diagnostic est l'analyse d'un ensemble de facteurs ou de symptômes qui visent à établir l'état d'un élément ou les causes d'un désordre quelconque constaté. C'est la détermination de la nature et la localisation du défaut ; cette connaissance permettra de décider le danger émanant du défaut et l'action nécessaire à prendre, afin de remédier au problème (maintenance Corrective). L'idée principale du diagnostic des défauts est de détecter le défaut dans le système, puis l'identifier, et ensuite prendre les mesures nécessaires pour appliquer la maintenance adéquate du système Le diagnostic est généralement effectué après la surveillance de l'élément en question et la détection de l'anomalie dans le signal vibratoire, qui nous renseigne sur les organes qui ne fonctionnent pas d'une façon normale.

Lorsqu'une valeur de défaillance a été fixée pour évaluer la dégradation d'un matériel ou d'un composant, on définit une autre valeur du même critère, en avance de la précédente, comme étant le « point de défaillance potentielle ». Cette valeur est choisie de telle sorte que si la dégradation ne l'atteint pas, le risque de défaillance avant la prochaine inspection est jugé acceptable. Il n'est donc pas nécessaire d'intervenir avant cette valeur. Ce concept de la défaillance potentielle est à la base des techniques modernes de maintenance (conditionnelle ou prévisionnelle). Il sera utilisé comme critère de décision de restauration. [7]

IV.3.3. Historique et domaines d'application

La méthode AMDEC a été utilisée originellement dans le traitement des risques potentiels inhérents aux activités de production de l'armement nucléaire. Progressivement, elle a été adaptée à l'ensemble des activités à risques (nucléaire civil ; domaine aéronautique, spatial ; grands travaux), puis a été intégrée dans les projets industriels. De nos jours, son emploi est très répandu dans le monde industriel soit pour améliorer l'existant, soit pour traiter préventivement les causes potentielles de non-performance des nouveaux produits, procédés ou moyens de production.

Tableau IV. 2 Historique de l'AMDEC. [8]

| | |
|---------------------|---|
| Années1950 : | la méthode FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) est introduite aux États-Unis dans le domaine des armes nucléaires. |
| Années1960 : | cette méthode est mise en application en France sous le nom d' AMDEC pour les programmes spatiaux et aéronautiques. |
| Années1970 : | son application est étendue aux domaines du nucléaire civil, des transports terrestres et des grands travaux. |
| Années1980 : | l' AMDEC est appliquée aux industries de produits et de biens d'équipement de production. |

IV.3.4. Définition et Propriétés

Méthode d'analyse rigoureuse et performante des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (ou FMECA pour Failures Modes, Effects and Criticality Analysis). Cet outil de sûreté de fonctionnement et de gestion de la qualité intègre une hiérarchisation des modes de défaillance en fonction de leur degré de criticité C. L'AMDEC permet ainsi de prévenir ou de réduire les risques liés à un produit, un projet ou à un processus de production dans une multitude de domaines et d'en mesurer les risques potentiels.

Au préalable au lancement d'une méthodologie AMDEC, il faut s'assurer de la connaissance parfaite du système et de son environnement et en posséder toutes les informations. La deuxième étape consiste à recenser puis analyser tous les modes de défaillance possibles, la présentation sur une grille d'analyse permet une vue synthétique. La troisième consiste à identifier en regard de chacune des failles des mesures permettant de réduire, voire d'annuler le risque de survenue. Le risque est un événement indésirable dont l'apparition n'est pas certaine, venant impacter, voire compromettre les objectifs attendus, qu'ils soient d'ordre technique (spécifications, performances, fiabilité), d'ordre financier (coût trop élevé) ou d'ordre contextuel (environnemental, social, culturel). La notion de criticité permet de classer tous ces risques les uns par rapport aux autres. Elle est déterminée par le produit (l'indice de fréquence d'apparition) x (l'indice de gravité) x (l'indice de détection). Ces indices, généralement notés de 1 à 4, sont nécessairement définis par consensus par un groupe de travail dont les participants représentent des compétences diversifiées, mais un pouvoir décisionnel. Les mesures correctives ou préventives sont proposées et mises en œuvre, afin de réduire la gravité et/ou la fréquence des problèmes ayant été identifiés comme les plus critiques. En opérant par ordre de criticité décroissante, les actions d'amélioration à conduire sur un processus, un projet ou un système se voient ainsi hiérarchisées. Cette méthode d'analyse de risques pour se montrer efficace se doit d'être collective, exhaustive et systématique. Utilisée à l'origine dans la gestion de la qualité, elle est de plus en plus déroulée dans le cadre de projets d'innovation, et permet ainsi d'en évaluer la pertinence. L'AMDEC s'inscrit parfaitement dans la logique actuelle de la maîtrise des risques. Les plans d'actions correctives ou préventives visent notamment à éliminer ou à réduire les risques liés à la sécurité de l'utilisateur, à la non-qualité, à la perte de productivité, ou à l'insatisfaction des clients. [10]

IV.3.5.L'aspect qualitatif et quantitatif des défaillances

- L'aspect qualitatif de l'étude consiste à recenser les défaillances potentielles des fonctions du système étudié, de rechercher et d'identifier les causes des défaillances et d'en connaître les effets qui peuvent affecter les clients, les utilisateurs et l'environnement interne ou externe.
- L'aspect quantitatif consiste à estimer le risque associé à la défaillance potentielle. Le but de cette estimation est l'identification et la hiérarchisation des défaillances potentielles. Celles-ci sont alors mises en évidence en appliquant certains critères dont, entre autres, l'impact sur le client. La hiérarchisation des modes de défaillance par ordre décroissant, facilite la recherche et la prise d'actions prioritaires qui doivent diminuer l'impact sur les clients ou qui élimineraient complètement les causes des défauts potentiels.

Le but de l'AMDEC est de faire ressortir les points critiques afin de les éliminer, de prévoir un mode de prévention. La mise en évidence de ces points se fait selon certains critères dans une analyse quantitative. [9]

IV.3.6. Types d'AMDEC

Il existe plusieurs types d'AMDEC, parmi les plus importants, mentionnons :

- **L'AMDEC-organisation** : s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires: du premier niveau qui englobe le système de gestion, le système d'information, le système production, le système personnel, le système marketing et le système finance, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.
- **L'AMDEC-produit ou l'AMDEC-projet** : est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique l'AMDEC-composants.
- **L'AMDEC-processus** : s'applique à des processus de fabrication. Elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être aussi utilisée pour les postes de travail.
- **L'AMDEC-moyen** : s'applique à des machines, des outils, des équipements et appareils de mesure, des logiciels et des systèmes de transport interne.
- **L'AMDEC-service** : s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service corresponde aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.
- **L'AMDEC-sécurité** : s'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci. [9]

IV.3.7. Les étapes de la méthode AMDEC

La méthode s'inscrit dans une démarche en cinq étapes :

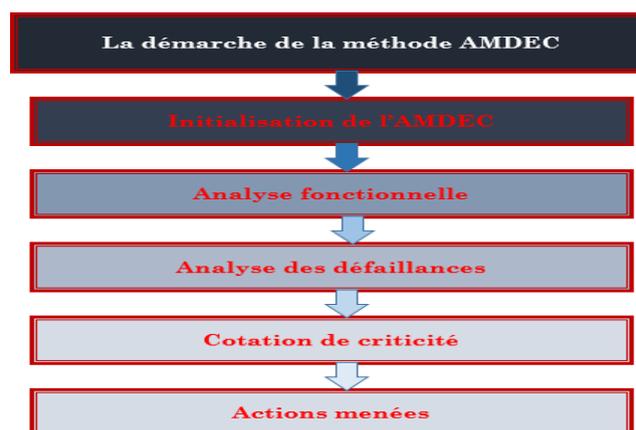


Figure IV. 1 La Démarche AMDEC.

IV.3.7.1. Etape 1 : Initialisation

- Définition du système et des objectifs à atteindre.
- Définir un groupe de travail (1 animateur AMDEC + 5 participants compétent sur le produit mais des plusieurs services de maintenance).

Constitution du Groupe de Travail

Le demandeur constitue un Groupe de Travail pluridisciplinaire qui est composé de personnes responsables sur le sujet traité, pouvant apporter des informations nécessaires à l'analyse, grâce à leurs connaissances techniques ou à leurs expériences sur des moyens similaires déjà en exploitation.

Le Groupe de Travail comprend impérativement :

- L'investisseur des services Méthodes (responsable du cahier des charges, des aspects techniques, des coûts, de la qualité et des délais),
- Le concepteur du moyen étudié (fournisseur responsable du moyen),
- Un utilisateur du moyen en production,
- Un agent en maintenance chargé de l'entretien du moyen mis en exploitation,
- Un spécialiste ou expert d'un sujet traité ponctuellement,
- Les services Qualité, Fiabilité, Sécurité. Essais. Achats.

L'étude AMDEC est gérée par le pilote (le demandeur ou l'investisseur), assisté par un animateur, personne ayant les compétences méthodologiques et la personnalité requise pour assurer l'organisation, le déroulement et l'animation de l'étude AMDEC Moyen de Production.

IV.3.7.2. Etape 2 : Analyse fonctionnelle

Comme son intitulé l'indique clairement, il s'agit de lister et de mettre en relation toutes les fonctions du produit ou les phases du processus afin d'identifier les causes de dysfonctionnement potentiel.

IV.3.7.3. Etape 3 : Analyse des défaillances

IV.3.7.3.1. Définition

Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise avec les performances définies dans les spécifications techniques. [7]

Par défaillance on entend simplement qu'un produit, un composant ou un ensemble :

- Ne fonctionne pas ;

- Ne fonctionne pas au moment prévu ;
- Ne s'arrête pas au moment prévu ;
- Fonctionne à un instant non désiré ;
- Fonctionne, mais les performances requises ne sont pas obtenues

IV.3.7.3.2. Mode de défaillance

C'est la façon dont un produit, un composant, un ensemble, un processus ou une organisation manifeste une défaillance ou s'écarte des spécifications. [9]

Selon la norme (**AFNOR X60-510**), le tableau suivant donne les modes de défaillance :

Tableau IV. 3 Modes des défaillances les plus fréquents des systèmes complexes.

IV.3.7.3.3. Les types des défaillances

Il ne suffit pas de s'intéresser aux conséquences d'un défaut de fonctionnement mais aussi à sa cause. Les différents défauts se manifestant de manières variées, les défaillances suivantes ont été définies (norme NF EN 13306, 2001) :

- Défaillance complète : cessation du fonctionnement ;
- Défaillance partielle : altération du fonctionnement ;
- Défaillance progressive : qui pourrait être prévue par une vérification préalable ;
- Défaillance soudaine : qui ne peut être prévue ;
- Défaillance intrinsèque : due à une faiblesse inhérente au matériel concerné ;
- Défaillance extrinsèque : due à des contraintes supérieures aux capacités du matériel ;
- Défaillance mineure : la mission globale du matériel n'est pas affectée ;
- Défaillance majeure : la mission globale du matériel ne peut plus être assurée ;
- Défaillance cataleptique : défaillance soudaine et complète ;
- Défaillances précoces : défaillances dont le taux décroît dans le temps ;
- Défaillances aléatoires : défaillances dont le taux est constant dans le temps ;

D'une façon générale la défaillance peut se manifester en fonction du temps de manière progressive ou par dérives (par usure ou fatigue), cataleptiques (soudaine) ou de façon aléatoire.

- Défaillance soudaine : Elles sont complètes et soudaines. Généralement, ses défaillances sont dues aux défauts pré existants dans les pièces en service. Il apparaît suite à un défaut soit lors de l'élaboration de la matière, soit lors de l'élaboration de la pièce finie ou lors du montage. Exemple la rupture brusque d'une pièce mécanique ; le court-circuit d'un système électrique ou électronique. Dans ce cas, il est très difficile d'observer la dégradation, par conséquent, il est

impossible de mettre en place une maintenance conditionnelle.

- Défaillance progressive : Dans ce cas, on voit progresser la dégradation. C'est pourquoi une connaissance des comportements des systèmes est indispensable. A la longue, une telle défaillance peut devenir une défaillance cataleptique. Exemple les phénomènes d'usure en mécanique :

L'augmentation du frottement ou l'augmentation de la valeur des résistances pour les systèmes Électroniques. Ces défaillances ont une probabilité d'apparition plus ou moins grande tout au long de la vie d'un matériel. Une telle défaillance est souvent identifiée. Dans ces circonstances, il devient possible de retirer l'élément dégradé en service avant le point de la défaillance potentielle et avec une utilisation maximale sans subir une défaillance fonctionnelle.

| Modes des défaillances |
|---|
| Défaillance structurelle ou rupture |
| Blocage physique ou coincement |
| Vibration |
| Ne reste pas en position |
| Ne s'ouvre pas |
| Ne se ferme pas |
| Défaillance en position ouverte |
| Défaillance en position fermée |
| Fuite interne |
| Fuite externe |
| Depasse la limite supérieure tolérée |
| Est en dessous de la limite inférieure tolérée |
| Fonctionnement intempestif |
| Fonctionnement intermittent |
| Fonctionnement irrégulier |
| Indication erronée |
| Ecoulement réduit |
| Misse en marche erroné |
| Ne s'arrête pas |
| Ne démarre pas |
| Ne commute pas |
| Fonctionnement prématuré |
| Fonctionnement après le délai prévu (retard) |
| Entrée erronée (augmentation) |
| Entrée erronée (diminution) |
| Sortie erronée (augmentation) |
| Sortie erronée (diminution) |
| Perte de l'entrée |
| Perte de la sortie |
| Court-circuit (électrique) |
| Circuit ouvert (électrique) |
| Fuite (électrique) |
| Autre conditions de défaillance exceptionnelle suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles |

IV.3.7.3.4. Le taux de défaillance $\lambda(t)$

L'objectif de la maintenance consiste, entre autres, à diminuer le nombre de défaillances touchant une machine. On s'intéresse donc plus particulièrement à la probabilité d'apparition de ces défaillances sur la durée de vie de la machine. Cette probabilité, ou taux de défaillance, évolue souvent suivant une courbe en « baignoire » principalement pour les équipements électromécaniques.

Le taux de défaillance est un indicateur de la fiabilité (exprimé en pannes par heure), peut être obtenu à partir des retours d'expériences, la vie des équipements se divise en trois phases :

- Phase de jeunesse : $\lambda(t)$ décroît rapidement.
- Phase de maturité : $\lambda(t)$ est pratiquement constant.
- Phase de vieillesse : $\lambda(t)$ croît rapidement.

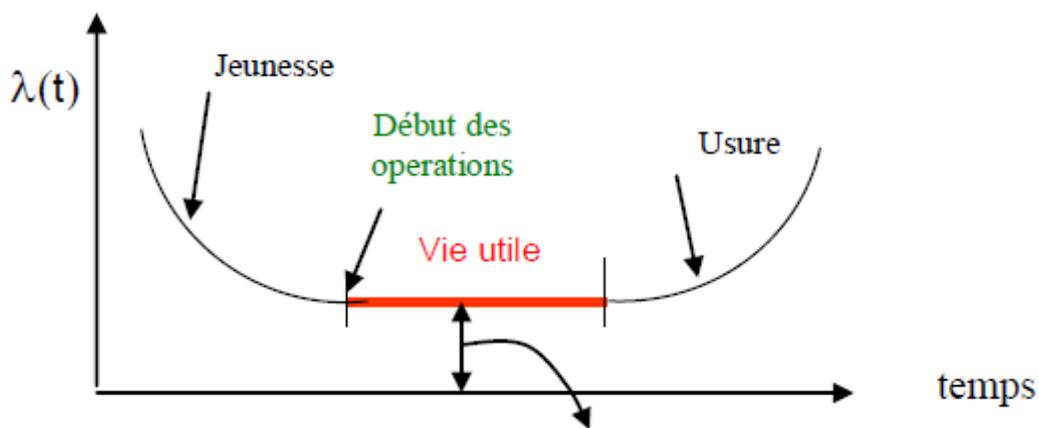


Figure IV. 2 Courbe d'évolution du taux de défaillance

La première phase dite de jeunesse montre qu'une nouvelle machine a une probabilité élevée de défaillance, en raison des défauts de conception ou de fabrication (pièces viciées au départ), de réglage, on n'applique que la maintenance corrective. Cette phase est caractérisée par un taux de défaillance décroissant en fonction du temps. C'est le cas de rodage en mécanique exemple des véhicules et le déverminage en électronique exemple des cartes électroniques.

La deuxième phase appelée maturité est caractérisée par un taux de défaillance presque constant, la probabilité de défaillances est très basse. C'est la période de vie utile dont laquelle on peut appliquer la maintenance préventive, systématique ou corrective.

Quand à la troisième phase de vieillesse, appelée aussi phase d'usure ou de fatigue, le taux de défaillance est croissant et la probabilité de panne augmente brusquement à cause du vieillissement des composants et l'usure des matériaux. Dans cette phase on peut appliquer la maintenance conditionnelle ou prédictive. [10]

IV.3.7.3.5. Les causes de défaillance

C'est l'événement à l'origine de la défaillance. Est évidemment ce qui conduit à une défaillance. On définit et on décrit les causes de chaque mode de défaillance considérée comme possible pour pouvoir en estimer la probabilité, en déceler les effets secondaires et prévoir des actions correctives pour la corriger.

Les causes de défaillance du système peuvent être externes ou internes :

- **Causes externes**

- Matière d'œuvre (absente, non conforme)
- Energie (absente, non conforme)
- Conditions d'exploitation : conduite et réglage non conformes
- Maintenance (absente, non conforme)
- Perturbation (environnement)

- **Causes internes**

Les éléments du système (composants, liaisons)

Les causes internes au système sont des éléments du système remplissant une fonction. Alimenter en énergie, traiter les informations et assurer la sécurité sont des fonctions communes. La défaillance de l'une de ces fonctions entraîne la défaillance des autres fonctions.

IV.3.7.3.6. Situation des causes des défaillances

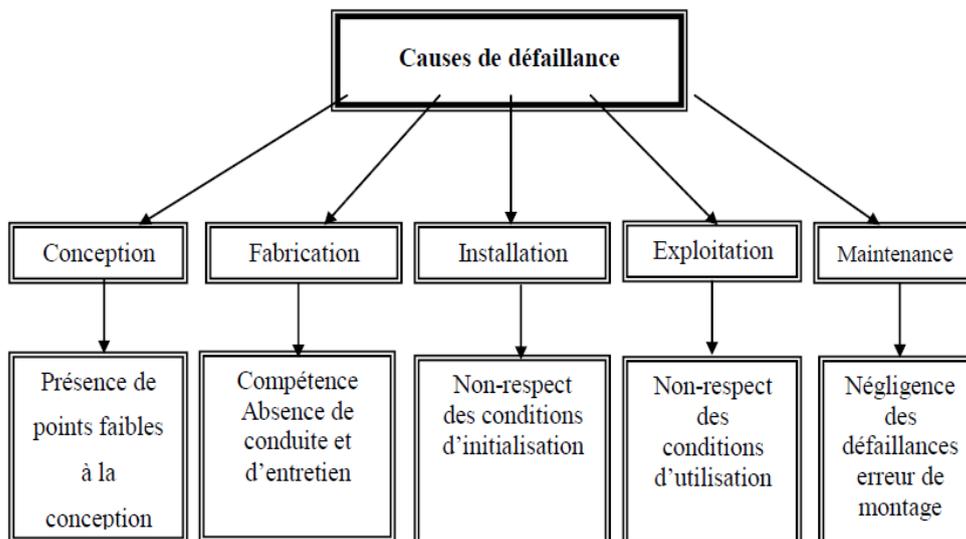


Figure IV. 3 Situation des causes des défaillances.

Les effets et les conséquences d'une défaillance

C'est la conséquence de la défaillance sur le fonctionnement, l'état de la machine et sur l'utilisateur. Pour chaque mode de défaillance, il faut décrire les effets de la défaillance sur le système, Les conséquences sont relatives :

- À l'arrêt de la production du moyen,
- Au non qualité du produit fabriqué,
- À la sécurité des biens et des personnes.
- Un effet peut lui-même devenir la cause d'un autre mode de défaillance.

IV.3.7.4.Etape 4 : Cotation de criticité

Évaluation de la criticité **Indice de Fréquence : F**

Il représente la probabilité que la cause de défaillance apparaisse et qu'elle entraîne le mode Potentiel de défaillance considéré. Il faut donc tenir compte simultanément de la probabilité d'apparition de la cause et de la probabilité que cette cause entraîne la défaillance. La note F correspond alors à la combinaison de ces deux probabilités. Le barème de cotation varie entre 1 et 4. [10]

Tableau IV. 4 Grille de Fréquence F.

| Note | FREQUENCE F | CRITERES DE SELECTION |
|------|-------------------------|--|
| 1 | Pratiquement inexistant | Défaillance pratiquement inexistant sur des installations similaires en exploitation, au plus 1 défaut sur la durée de vie du moyen |
| 2 | Rare | Défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation, à titre indicatif : 1 défaut par an Où Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire |
| 3 | Occasionnel | Défaillance apparue occasionnellement sur du matériel similaire existant en exploitation, à titre indicatif : 1 défaut par trimestre |
| 4 | Fréquent | Défaillance apparue fréquemment sur un composant connu ou sur du matériel similaire existant sur une exploitation, à titre indicatif : 1 défaut par mois, Où Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions ne sont pas réunies pour prévenir la défaillance et il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire |

Indice de Gravité : G

Les barèmes de cotation, variant de 1 à 5, se basent sur les effets provoqués par la défaillance, en terme :

- De **Temps d'Intervention** (TI) qui correspond au Temps Actif de Maintenance Corrective(diagnostic + réparation ou échange + remise en service),
- De **qualité** des pièces produites,
- De **sécurité** des hommes ou des biens.

L'indice sanctionne uniquement l'**effet le plus grave produit** par le mode de défaillance, même lorsque plusieurs effets ont été identifiés.

La note **G = 5** est automatiquement attribuée :

- Lorsque l'effet peut impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention,
- Ou, lorsque l'effet peut entraîner une non-conformité dans les opérations aval et, éventuellement, un dysfonctionnement pour le client final, si cette non-conformité n'est pas détectée dans le processus.

G ne change pas sauf en cas de nouvelle conception.

Tableau IV. 5 Grille de Gravité G.

| Note | GRAVITE G | CRITERES DE SELECTION (TI = Temps d'intervention *, Qualité et Sécurité |
|------|--------------------|--|
| 1 | Mineure | Défaillance mineure, aucune dégradation notable du matériel, à titre indicatif, TI ≤ 3 min |
| 2 | Moyenne | Défaillance moyenne nécessitant une remise en état de courte durée, à titre indicatif, 3 min < TI ≤ 20 min |
| 3 | Majeure | Défaillance importante, nécessitant une intervention de longue durée, à titre indicatif, 20 min < TI ≤ 60 min Où Non-conformité du produit, constatée et corrigée par l'utilisateur du moyen |
| 4 | Catastrophique | Défaillance grave, à titre indicatif, TI > 60 min, Où Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise), Où Dommage matériel important (sécurité des biens) |
| 5 | Sécurité / Qualité | Accident pouvant impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention, Où Non-conformité du produit envoyé en clientèle (l'automobiliste) |

Indice de Non-Détection : D

C'est la probabilité que la cause ou le mode de défaillance supposés apparus provoquent l'effet le plus grave, sans que la défaillance ne soit détectée au préalable. Le barème de cotation varie entre 1 et 4.

[12]

Tableau IV. 6 Grille de Non-Détection D.

| Note | NON-DETECTION D | CRITERES DE SELECTION |
|------|-----------------------|--|
| 1 | Détection totale | Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave, provoqué par la défaillance pendant la production |
| 2 | Détection exploitable | La cause ou le mode de défaillance sont décelables, mais le risque de ne pas être perçus existe |
| 3 | Détection faible | La cause ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables |
| 4 | Sans détection | Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise |

Criticité

Lorsque l'AMDEC est terminée, une analyse d'évaluation des risques est effectuée pour toutes les défaillances précédemment identifiées.

L'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la Criticité, à partir de l'estimation des indices de Gravité, de Fréquence et de non-Détection.

La criticité permet :

- De noter l'importance du risque engendré par chaque cause de défaillance,
- Puis de hiérarchiser les défaillances. Cette hiérarchisation sert à prioriser les actions et mener, ainsi, des actions sur celles qui sont égales ou supérieures au seuil retenu.

L'indice de Criticité est calculé pour chaque cause de défaillance, en effectuant le produit de trois indices :

F, G, D sont définis ci-dessous. Ces indices peuvent également être écrit F', G', et D' (et C') lorsqu'ils sont évalués après des actions correctives. [12]

$$C = F \cdot G \cdot D$$

Sur le lieu d'application, nous voulions appliquer l'AMDEC au système de ventilation et désenfumage, nous avons remarqué que l'institut n'avait pas de système de désenfumage.

Donc en a appliquer cette application sur le réseau Anti incendie de L'Institut.

IV.4. Application de L'AMDEC Sur le réseau Anti incendie de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

IV.4.1. Le système de sécurité incendie

Un système de sécurité incendie est un équipement qui permet de mettre en sécurité l'établissement dès l'apparition d'un signe de feu.

Dans un établissement recevant du Public ou dans les immeubles de grande hauteur, le système de sécurité incendie est un des moyens de secours qui peut être imposé soit par le règlement de sécurité, soit par la commission de sécurité.

Ayant pour but premier d'assurer la sécurité des personnes, puis de faciliter l'intervention des pompiers et enfin de limiter la propagation du feu, l'appareil détecte, et provoque plusieurs actions de sécurité.

Ces actions sont classées en quatre familles de fonction que l'on note : Compartimentage, Désenfumage, Arrêt Technique, Évacuation.

Ce système présente 3 qualités incontournables : Fiabilité, Crédibilité, Rapidité. Pour ces raisons, il fait l'objet de tests quotidiens, et de vérifications annuelles par des organismes certifiés. [1]

-Nous avons appliqué L'AMDEC Sur le réseau Anti incendie de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle.

IV.4.2. Les composant et l'emplacement de système anti incendie de IMSI

- RIA de nombre neuf (09) dont trois (03) RIA dans chaque étage.
- Un poteau d'incendie devant l'entrée du bloc de l'IMSI.
- Soixante-trois (63) extincteurs portatifs dont « 50 à l'eau » et « 13 à la poudre »,

répartis sur l'ensemble de l'établissement.

- Bâche d'eau située sur le côté gauche du bloc.
- La pompe électrogène située à côté de la bâche d'eau.
- Alarme dans le bloc principale.
- Les vannes et la tuyauterie.

Quelques photos de réseaux anti incendie



Figure IV. 4 Photo de RIA a IMSI



Figure IV. 5 Poteau incendie d'IMSI



Figure IV. 6 bâche d'eau d'IMSI



Figure IV. 7 Extincteur à eau

IV.4.3. Tableau AMDEC

Après avoir défini la décomposition structurelle et fonctionnelle de réseaux anti incendie, nous allons maintenant appliquer l'AMDEC pour chaque élément de ce système.

| Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------------------|--|---|---------------------------------|-----------|---|---|----|--|
| Système : Réseaux anti incendie | | Dates : 23/09/2022 | | | | | | | | |
| L'élément | Fonction | Mode de défaillance | Cause | Effet | Détection | Criticité | | | | Action à engager |
| | | | | | | G | D | F | C | |
| bâche d'eau | -Stockage de l'eau | Pas d'eau dans le réservoir | -Les pompes à eau sont en panne -Les sources d'eau arrêtées | -Arrêt du système | -Visuel -détecteur de niveau | 5 | 2 | 3 | 30 | -remplissage du réservoir de l'eau -vérifier que les canalisations sont étanches -Maintenance périodique |
| Tuyauterie | -l'écoulement de l'eau vers le système d'extinctions | -Fuit -Rupture | -Corrosion -Joins défectueux | -Diminution de débit -Arrêt partielle de système | -Visuel | 4 | 3 | 3 | 36 | -Contrôler la combustion et changement des pièces qui est défectueux. |

Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités

| Système : Réseaux anti incendie | | Dates : 23/09/2022 | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|-----------------------|--|---|----------------------|-----------|---|---|----|---|
| L'élément | Fonction | Mode de défaillance | Cause | Effet | Détection | Criticité | | | | Action à engager |
| | | | | | | G | D | F | C | |
| La pompe électrogène | -L'accélération de la vitesse de circulation de l'eau | -Blocage -grippage | -longue période d'inactivité -présence de boues et de dépôts de tartre dans le réseau ou dans le corpsde pompe. | -Fonction dégradé | -Faible débit | 4 | 3 | 2 | 24 | -Nettoyage mensuel de la pompe. Démonter la pompe de circulation pour vérifier l'intérieur de la pompe et de tester le moteur. |
| Les vannes | -Commander manuellement le débit | -Fuit -Coincement | -Corrosion -Joins défectueux | -Perte de pression -Difficulté à contrôler | -visuel -Manuelle | 3 | 1 | 3 | 9 | -Changement de la vanne |

Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités

| Système : Réseaux anti incendie | | Dates : 23/09/2022 | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|--|------------|----------------------------|-----------|-----------|---|---|---|---|
| L'élément | Fonction | Mode de défaillance | Cause | Effet | Détection | Criticité | | | | Action à engager |
| | | | | | | G | D | F | C | |
| RIA | Dédiés à la lutte contre l'incendie | Ne s'ouvre pas Blocage des vannes de poteau | -Corrosion | Arrêt partielle de système | -Manuelle | 3 | 1 | 3 | 9 | Changement de la vanne -Maintenance périodique |
| poteau d'incendie | Dédiés à la lutte contre l'incendie | Ne s'ouvre pas Blocage des vannes de poteau | -Corrosion | Arrêt partielle de système | -Manuelle | 3 | 1 | 3 | 9 | Changement de la vanne -Maintenance périodique |

Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités

| Système : Réseaux anti incendie | | Dates : 23/09/2022 | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|--|---|--|-----------------------------------|-----------|---|---|----|---|
| L'élément | Fonction | Mode de défaillance | Cause | Effet | Détection | Criticité | | | | Action à engager |
| | | | | | | G | D | F | C | |
| Alarme | signaler la présence d'un risque d'incendie | L'alarme ne fonctionne pas | il n'y a pas d'électricité Dysfonctionnement de l'alarme | Ne pas informer les travailleurs Ne pas agir rapidement | -Manuelle Détection par l'ouïe | 5 | 2 | 1 | 10 | Testez quotidiennement le système de sécurité Connexion du système à d'autres sources d'alimentation telles que la batterie. |
| Extincteurs portatifs | éteindre le feu | Blocage de Poignée L'extincteur ne fonctionne pas | Corrosion Pas d'agent d'extinction | L'impossibilité d'intervenir rapidement et d'éteindre le feu | -Manuelle | 3 | 2 | 2 | 12 | Testez quotidiennement Les extincteurs Vérifiez les dates d'expiration des extincteurs. |

IV.5. Conclusion

L'application de la méthode de l'AMDEC sur le réseau anti incendie de l'institut montre que : Tous les équipements de notre étude présentent un risque inacceptable par conséquent, des démarches préventifs doivent être appliqué tels que : la maintenance et la vérification périodique de ces équipements. Dans ce cas, on propose quelques recommandations pour l'amélioration du système au niveau de l'institut.

Conclusion générale

Durant ce projet qui est le contrôle de fumée et de feu dans les espaces confinés on a élaboré une étude bibliographique d'une manière générale de notions générale sur la composition de la fumée de feu, on a vu l'importance d'étudier les effets de cette phénomènes, les méthodes de détections de fumé et le désenfumage, pour mieux comprendre le scénario catastrophique qui peuvent être engendré ainsi que les méthodes d'analyse des risques parmi ces méthodes la méthode AMDEC.

L'application de cet apport théorique nous a permis d'appliquer toutes ces connaissances sur la structure de l'institut de maintenance et sécurité industrielle dans le réseau anti incendie qui est important pour l'extinction de l'incendie, parce que ce dernier est le risque plus critique, ainsi permettant de mettre en œuvre des mesures de prévention et de protection pour limiter les émissions de fumée tel que l'incendie.

Cela devrait conduire à renforcer l'intégrité du système anti incendie, la détection et le désenfumage selon les résultats de l'application de la méthode d'analyse des risques AMDEC, afin d'initier une ou plusieurs des actions suivantes :

- mise en place du système de désenfumage.
- Fourniture et installation de détecteurs de fumée incendie.
- Ajoute des Sprinklers au les réseaux anti incendie.
- Ajouter des autres poteaux d'incendie L'institut n'a qu'un seul.
- Remplacement d'Alarme manuel par l'Alarme automatique qui fonctionne avec des capteurs.
- Ajouter des pompes de rechange en cas de panne des pompes principales.

D'autres facteurs importants qu'il faut prendre en compte est l'intégration d'un PLC

« Automate programmable dédié à la sécurité » au système de détection pour que l'action de sécurité s'effectue dans un bref délai et avec une fiabilité importante.

Au final l'intégration d'une conscience de devoir et la prise des responsabilités sont primordiales pour le bon fonctionnement des systèmes de sécurité comme le réseau anti incendie de l'IMSI, et le système de désenfumage.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Source:** Wikipédia sous licence CC-BY-SA 3.0.
- [2] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2002
- [3] Règlement sur la protection des bâtiments contre l'incendie
- [4] TS CEN/TS 54-14 (Systèmes de détection et d'alarme incendie - Partie 14: Norme sur la planification, la conception, l'installation, la mise en service, l'utilisation et la maintenance.
- [5] IT246. Document Instruction Technique 246 Relative au désenfumage des Établissements Recevant du Public, Arrêté du 22 mars 2004, paru au J.O. du 1er avril 2004.
- [6] Modélisation 3D de la dispersion des gaz et des flammes par CFD(11072021)).pdf
- [7] ZWINGELSTEIN. G, Diagnostic des défaillances (théorie et pratique pour les systèmes industriels), Traité des nouvelles technologies – série diagnostic et maintenance, Notion de risques.
- [8] AMDEC-Moyen-Auteur(s) : Michel RIDOUX, Date de publication : 10 juil. 1999. Techniques de l'ingénieur.
- [9] KELADA. J, 1994, l'AMDEC, École des Études Commerciales : Centre d'étude En qualité totale.
- [10] Thèse présentée par TALEB Mounia (2018) : « surveillance, détection et diagnostic des défaillances dans une cimenterie en utilisant l'analyse fonctionnelle ». En vue de l'obtention du doctorat.
- [11] Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en génie industriel, Faculté des Sciences Et Techniques de Fès.
- [12] J. GOUTIERE, moyens de production méthode AMDEC, 2011