

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université du 20 Août 1955 Skikda

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique



Cours de Maintenance et Sécurité Industrielle

Destiné aux étudiants de :

Master1 Génie Pétrochimique

Elaboré par :

Dr. ABDERRAHMANE Nadhir

Maitre de Conférences classe B

Année universitaire 2020/2021

Cours de Maintenance et Sécurité Industrielle

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

CHAPITRE 1 : MAINTENANCE DES SYSTEMES INDUSTRIELS

1/ INTRODUCTION

2/ LES GRANDS PRINCIPES DE LA MAINTENANCE

A/ Les critères de la maintenabilité

B/ Les différentes formes de la maintenance

C/ Les activités de la maintenance (norme NF EN 13306)

D/ Les temps de la maintenance

E/ Niveaux et échelons de maintenance

1. Les niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

2. Les échelons de maintenance (norme FD X 60-000)

Chapitre 2 : LES DEFAILLANCES

1 – DEFAILLANCES ET PANNES

1.1 Quelques définitions (norme NF EN 13306)

2 – CLASSIFICATION DES DEFAILLANCES

3 – EVOLUTION DES DEFAILLANCES

3.1. Evolution de la défaillance dans le temps

3.2. Processus d'évolution d'une défaillance mécanique

4 – MECANISMES DE DEFAILLANCE

4.1. Les défaillances mécaniques

4.1.1 – Défaillance par usure

4.1.2 – Défaillances mécaniques par déformation plastique

4.1.3 – Défaillances mécaniques par fatigue

5. MODES DE DEFAILLANCE DES PIECES PLASTIQUES ET COMPOSITES

5.1 – Rupture mécanique des plastiques

5.2 – Vieillessement des composites

6. MODES DE DEFAILLANCE DES PARTIES COMMANDES

6.1 – Modes de défaillance relatifs à la logique câblée

6.2 – Modes de défaillance relatifs à la logique programmée

6.3 – Modes de défaillance par incompatibilité électromagnétique

Chapitre 3. DANGER ET RISQUE

1-INTRODUCTION

2-GENERALITE SUR LE RISQUE

2.1-Le Danger et le Risque

2.2- Liaisons d'un risque majeur

2.3-Les différents Types de Risques Majeurs

2.3.1-Le risque industriel

2.3.2-Accident majeur (Réf. directif 96/82/CE ; SEVESO 2)

3-DEFINITION D'UNE BARRIERE DE SECURITE(BS)

4-CLASSE DES BARRIERES DE SECURITE

4.1-Type de barrière

4.1.1-Barrière passive

4.1.2- Barrière active

4.2- Selon la fonction de barrière

4.2.1-Barrière de prévention

4.2.2- Barrière de protection

4.3-Barrière technique de sécurité (BTS)

4.4-Les barrières humaines de sécurité (BHS)

5- SYSTEMES INSTRUMENTES DE SECURITE (SIS)

5.1-Sous-fonction de Sécurité "Détection"

5.2-Sous-fonction de Sécurité "Traitement de l'Information"

5.3-Sous-fonction de Sécurité "Action"

5.4-Catégories de Barrières Humaines de Sécurité Retenues pour la Maîtrise des Risques

5.5-Autres Barrières de Sécurités

5.6-Analyse des risques

5.6.1 Généralités et objectifs

5.6.2 Analyse des conditions de travail

5.6.2 .1 Indicateurs d'analyse

5.6.3 La maitrise du risque

5.6.3.1 Principes généraux

5.6.3.2 Traitement des risques

Chapitre 4 : LA SURETE DE FONCTIONNEMENT (SDF)

1. HISTORIQUE

2. LES ESSENTIELS DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

3. LE BUT DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

3.1 Quelques indicateurs

3.2 Les études de sûreté de fonctionnement

3.2.1 Etape par étape

3.2.2 Etudes périphériques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

INTRODUCTION

La sécurité et son corollaire le risque, font partie intégrante de la gestion des entreprises, des collectivités, des administrations. La maîtrise du risque est d'ailleurs à la responsabilité juridique et financière qui pèse, de plus en plus, sur les chefs d'entreprises, les organisations, les caisses d'assurances et même les particuliers en tant que salariés.

Sachant qu'un incident mécanique, une défaillance ou une panne, peut provoquer un accident « une défaillance est un risque qui se concrétise », sachant aussi que la maintenance doit préserver la santé des équipements, ainsi que l'état du matériel de protection et les dispositifs de sécurité. Il apparaît que la relation entre la maintenance et la sécurité est particulièrement étroite. En effet, l'accident de travail comme la non-conformité en qualité provient d'une défaillance du système de production. Aussi réduire cette défaillance, c'est améliorer à la fois la qualité du produit et la qualité de la vie. Pour cela, il faut connaître cette défaillance, cet événement hors norme et dont les causes peuvent être multiples : organisationnelles (insuffisance d'entretien préventif par exemple), techniques (défauts de conception) et humaines (erreur de communication, de décodage, fatigue, etc.). De plus, certaines opérations de la maintenance sont elles-mêmes dangereuses. Pour toutes ces raisons ainsi pour la connaissance des machines et des équipements, le responsable de la maintenance devrait participer aux réunions du comité de santé et de sécurité de l'entreprise. Désormais, la maîtrise des risques est une exigence constante pour tous les secteurs industriels : la sécurité est une priorité d'entreprise. L'expérience laisse à penser qu'une amélioration qualitative va de pair avec une amélioration de la sécurité.

L'objectif de ce module est d'informer, sensibiliser, communiquer, sur le thème maintenance et sécurité industriels, présenter les nouvelles techniques de prévention et préservation du matériels, y compris des rappels de base. Ainsi pour permettre aux étudiants de différentes spécialités et aux différentes entreprises d'y puiser les informations qu'il recherche pour compléter leur formation et les faire partager aux responsables des services de sécurités.

Aujourd'hui, l'entreprise algérienne est soumise à des mutations majeures et profondes des techniques et technologies. Elle est sans cesse confrontée à un monde

concurrentiel impitoyable qui vise continuellement à améliorer aussi bien la qualité et les prix des produits que les délais de production. De plus, elle est de plus en plus sensibilisée à l'importance des coûts induits par la défaillance accidentelle des systèmes de production. Cette dernière est la conséquence d'un risque qui se concrétise. Or, comme les entreprises industrielles possèdent des systèmes de production de plus en plus complexes et sophistiqués, qui sont à la fois plus performant et plus fragiles.

Ceci nécessite une sécurité accrue et une maintenance importante de l'ensemble des équipements le long de leur cycle de vie. En outre, les progrès techniques permanents et les législations toujours plus strictes en matière d'environnement et de sécurité du travail font de la maintenance une tâche de plus en plus complexe. A tous ces défis s'ajoutent les exigences de productivité, qui demandent de maximiser les temps d'activité des machines.

De ce fait, il apparaît nécessaire d'approfondir et de généraliser un certain nombre d'orientations qui concerne l'ensemble des niveaux d'interventions et peuvent constituer les lignes directrices d'une politique dynamique de maîtrise des risques industriels et technologiques, voire contribuer à l'amélioration de la maintenance et de la sécurité au niveau des différentes entreprises. C'est l'ère de la qualité totale (globale) et de la sécurité intégrée. Il ne s'agit plus de fonctions à part, elles s'intègrent dans le processus productif de l'entreprise et deviennent l'affaire de tous et non plus seulement des experts. C'est l'époque des Zéro : Zéro défaut, Zéro panne, Zéro accident.

Chapitre 1 : MAINTENANCE DES SYSTEMES INDUSTRIELS

1/ INTRODUCTION

Dans un contexte industriel fortement concurrentiel, les entreprises sont contraintes de rationaliser leurs modes de fonctionnements et par la même leur processus de production et de conception. Aujourd'hui, la problématique de l'entreprise est d'être capable de fournir à son « marché », dans les meilleures conditions de cout et les délais les plus courts, les produits de qualité que cherchent des clientèles de plus en plus exigeantes. C'est pourquoi, composantes majeure de l'utilisation optimale des moyens de production, la maintenance des systèmes industriels acquiert une importance croissante et devient l'une des fonctions stratégiques dans le management de l'entreprise. Elle constitue un facteur de compétitivité et de pérennité décisif pour l'entreprise visant à répondre aux impératifs industriels à savoir améliorer la fiabilité des équipements et la qualité des produits tout en réduisant au maximum les dépenses liées aux achats et opérations d'entretien ainsi qu'à l'amélioration de la productivité. C'est pourquoi, les entreprises qui survivent et prospèrent sont celles qui ont su à chaque fois évaluer et repositionner leur maintenance pour s'adapter en permanence aux nouvelles conditions imposées par la concurrence du marché.

Depuis quelques années, la fonction maintenance est en pleine évolution, basée actuellement sur les notions de fiabilité, de maintenabilité et des concepts de la qualité, elle ne se limite plus à la seule vision du matériel siège de la défaillance, mais s'étend sous ses nouvelles formes (conditionnelle, prévisionnelle, proactive, distribuée, etc.) à l'ensemble des processus de l'entreprise. A cet effet, l'entreprise est amenée à évaluer son système existant par rapport à ce qu'il devrait l'être d'une part et prendre les décisions stratégiques prioritaires de maintenance qui s'imposent d'autre part. Or, une machine industrielle est un équipement complexe, sujet à des multiples modes de défaillances ou les opportunités de pannes ou d'incidents sont multiples. Les pannes et incidents dans le fonctionnement des machines peuvent prendre de multiples aspects. Ils sont dus parfois à des insuffisances dans la conception des machines, et souvent à la façon dont elles sont utilisées.

Une panne est souvent très difficile à prévoir. Un arrêt de machine non prévu peut provoquer de lourdes conséquences financières, étant donné que la principale cause des accidents est liée à l'état de fonctionnement. Elles peuvent arrêter la production, donc

l'output de la machine suivante n'est plus assuré, voire le produit fini non plus. Ceci implique des faits, que pour des questions supplémentaires à causes des pertes de production, non-respects des délais, des heures supplémentaires, etc. A cet effet, dans l'industrie concurrentielle d'aujourd'hui, la maintenance des systèmes industriels devient une fonction stratégique dans le management de l'entreprise et un point de passage obligé de la compétitivité des entreprises lors de la conception et de l'exploitation des systèmes, tant pour des questions de sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité), que pour des questions de rentabilité et qualité. Sans oublier qu'une maintenance mal adaptée à un système peut également conduire à une situation critique dangereuse aussi bien pour les personnes que pour le matériel ou l'environnement. Alors, la gestion de la maintenance s'oriente vers la participation de tous les intervenants et à tous les niveaux. Elle prône également l'amélioration continue et suggère des outils et des méthodes de plus en plus évolués.

Dans nos entreprises industrielles, on dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation et la maîtrise de la disponibilité des équipements dans ces entreprises donnent à la maintenance des systèmes un rôle excellent. Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation et de fournir un diagnostic fiable et facilement interprétable malgré la complexité des équipements. Or, le fonctionnement d'une machine, même dans les conditions normales entraîne un certain vieillissement des matériels, et parfois même des incidents et/ou des accidents.

2/ LES GRANDS PRINCIPES DE LA MAINTENANCE

A/ Les critères de la maintenabilité

La maintenabilité est une caractéristique précisant la facilité et la rapidité avec lesquelles un système peut être remis en un état de fonctionnement total avec une fiabilité correspondante à son âge. C'est pourquoi, pour rendre l'opération de maintenance plus facile et plus rapide, on devra prévoir, dès la conception, les moyens pour faciliter :

- Le diagnostic des pannes existantes et celles risquant de survenir rapidement (défaillance par dégradation) ;
- L'accès aux pièces à rechange, leur démontage et leur remplacement ;

- Le contrôle de la validité de l'action de maintenance.

Donc, la maintenabilité est probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions et avec des moyens prescrits. Ce qui revient à construire dès la phase de conception à partir du cahier des charges, tout en tenant compte des critères de maintenabilité.

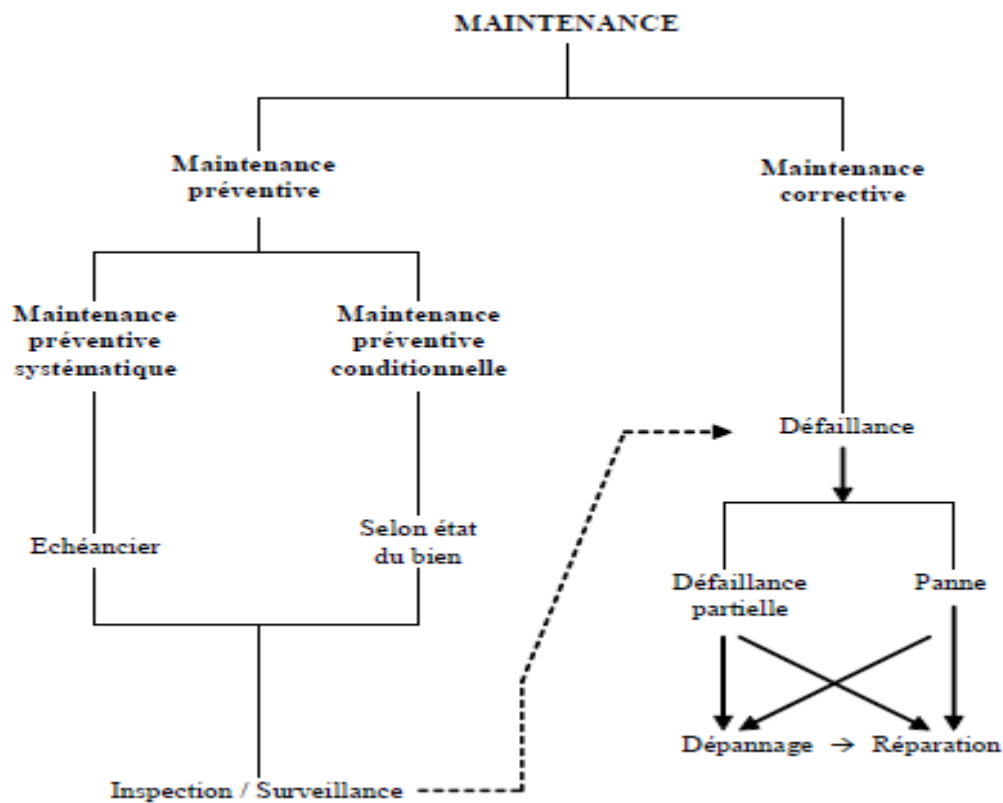
La Norme NF X 60-300 et X 60 -301 spécifient cinq types de critères de maintenabilité qui sont :

- ☞ Le premier critère est relatif à la surveillance de la maintenance préventive. Il est important de connaître à ce niveau l'accessibilité de la composante, sa démontabilité et son interchangeabilité ;
- ☞ Le deuxième critère est relatif à la maintenance corrective, plus particulièrement, le temps de recherche de panne ou de défaillance et le temps de diagnostic ;
- ☞ Le troisième critère est relatif à l'organisation de la maintenance, pris en compte par la périodicité du préventif, le groupement à des périodes identiques, l'homogénéité de la fiabilité des composants, la présence d'indicateurs et de compteurs et complexité des interventions ;
- ☞ Le quatrième critère est lié à la qualité de la documentation technique. Disponibilité de la documentation, le mode transmission et les principes généraux de rédaction et de présentation ;
- ☞ Le dernier critère est lié au suivi du bien par le fabricant. Il sera question de l'évolution du fabricant, de la qualité du service après-vente et de l'obtention des pièces de rechange.

B/ Les différentes formes de la maintenance

En pratique, la maintenance d'un système industriel peut être envisagée autour de différentes formes, Figure suivante, soit une maintenance corrective après défaillance de l'équipement, soit une maintenance préventive selon l'état de l'équipement afin d'anticiper l'apparition de la défaillance, soit une maintenance proactive basée sur l'expertise des défaillances passées et la compréhension des mécanismes de ces défaillances, effectivement

passer aux actions d'améliorations. L'efficacité de ces méthodes de maintenance dépend en grande partie du mode d'organisation adoptée, de la répartition des responsabilités d'action et de réflexion, et surtout de l'utilisation et de la maîtrise des outils spécifiques. Une plus grande disponibilité des machines nécessite la mise en place des technologies les plus modernes et des stratégies de maintenance les plus efficaces. De plus, à un cout de maintenance associant un potentiel de gain en termes de qualité, de délai, de cout de fabrication, de pièces de rechange et d'heures d'intervention.



➤ La maintenance corrective

C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. La maintenance préventive C'est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

➤ La maintenance préventive systématique

C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

La maintenance préventive conditionnelle. C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

➤ **La maintenance préventive prévisionnelle**

C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien.

C/Les activités de la maintenance (norme NF EN 13306)

➤ **L'inspection**

C'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance.

➤ **La surveillance**

C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien. La surveillance se distingue de l'inspection en ce qu'elle est utilisée pour évaluer l'évolution des paramètres du bien avec le temps.

➤ **La réparation**

Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

➤ **Le dépannage**

Ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée illimitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

➤ **L'amélioration**

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

➤ **La modification**

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien.

➤ **La révision**

Ensemble complet d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

➤ **La reconstruction**

Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés.

La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations.

L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine.

D/ Les temps de la maintenance

1. La MTBF

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF).

Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

Remarque : En anglais, MTBF signifie mean time between failures (norme X60-500).

2. La MTTR

La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR).

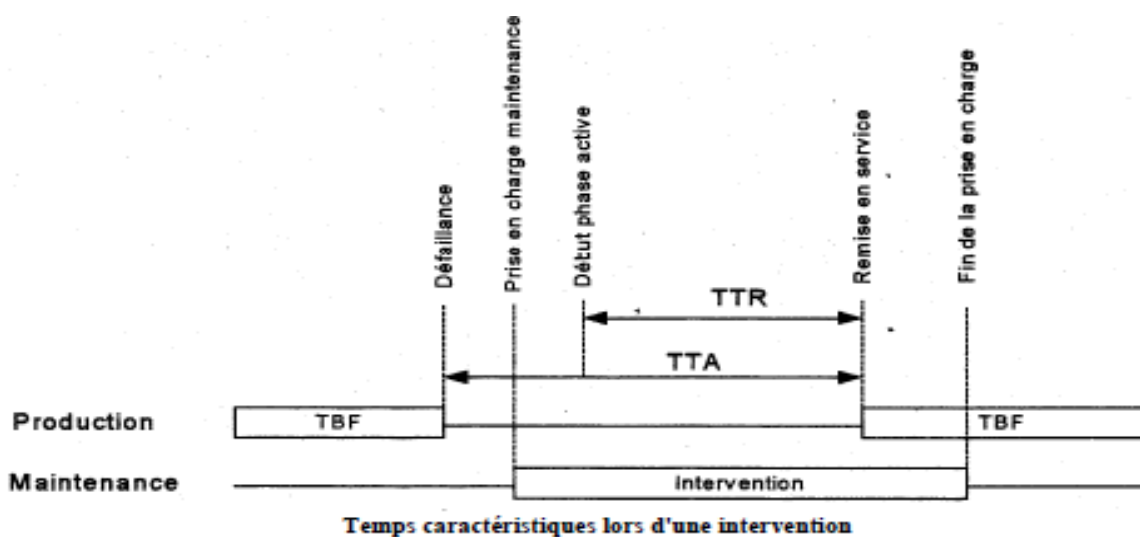
Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

Remarque : En anglais, MTTR signifie mean time to restoration (norme X60-500).

3. La MTTA

La MTTA est la moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA).

Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.).



E/ Niveaux et échelons de maintenance

1. Les niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en cinq niveaux de maintenance. Le tableau de la page suivante définit les cinq niveaux de maintenance.

2. Les échelons de maintenance (norme FD X 60-000)

Il est important de ne pas confondre les niveaux de maintenance avec la notion d'échelon de maintenance qui spécifie l'endroit où les interventions sont effectuées. On définit généralement trois échelons qui sont :

- la **maintenance sur site** : l'intervention est directement réalisée sur le matériel en place ;
- la **maintenance en atelier** : le matériel à réparer est transporté dans un endroit, sur site, approprié à l'intervention ;
- la **maintenance chez le constructeur** ou une **société spécialisée** : le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens spécifiques.

Bien que les deux concepts de niveau et d'échelon de maintenance soient bien distincts, il existe souvent une corrélation entre le niveau et l'échelon. Les opérations de niveaux 1 à 3, par exemple, s'effectuant sur site, celles de niveau 4 en atelier, et celles de niveau 5 chez un spécialiste hors site (constructeur ou société spécialisée). Si cela se vérifie fréquemment (dans le domaine militaire par exemple), il convient cependant de ne pas en faire une généralité.

On peut rencontrer en milieu industriel des tâches de niveau 5 effectuées directement sur site.

Les cinq niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

Niveau 1	<p>Définition : Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien.</p> <p>Intervenant : L'utilisateur du bien</p> <p>Exemples en préventif : Ronde de surveillance d'état ; Graissages journaliers ; Manœuvre manuelle d'organes mécaniques ; Relevés de valeurs d'état ou d'unités d'usage ; Test de lampes sur pupitre ; Purge d'éléments filtrants ; Contrôle d'encrassement des filtres.</p> <p>Exemples en correctif : Remplacement des ampoules ; Ajustage, remplacement d'éléments d'usure ou détériorés, sur des éléments ou composants simples et accessibles.</p>
Niveau 2	<p>Définition : Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple.</p> <p>Intervenant : Personnel qualifié</p> <p>Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.</p> <p>Exemples en préventif : Contrôle de paramètres sur équipements en fonctionnement, à l'aide de moyens de mesure intégrés au bien ; Réglages simples (alignement de poulies, alignement pompe-moteur, etc.) ; Contrôle des organes de coupure (capteurs, disjoncteurs, fusibles), de sécurité, etc. ; Détartrage de surface de ruissellement (tour aéroréfrigérante) ; Graissage à faible périodicité (hebdomadaire, mensuelle) ; Remplacement de filtres difficiles d'accès.</p> <p>Exemples en correctif : Remplacement par échange standard de pièces : fusibles, courroies, filtres à air, etc. ; Remplacement de tresses, de presse-étoupe, etc. ; Lecture de logigrammes de dépannage pour remise en cycle ; Remplacement de composants individuels d'usure ou détériorés par échange standard (rail, glissière, galet, rouleaux, chaîne, fusible, courroie,...).</p>

Niveau 3	<p>Définition : Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes.</p> <p>Intervenant : Technicien qualifié</p> <p>Exemples en préventif : Contrôle et réglages impliquant l'utilisation d'appareils de mesure externes aux biens ; Visite de maintenance préventive sur les équipements complexes ; Contrôle d'allumage et de combustion (chaudières) ; Intervention de maintenance préventive intrusive ; Relevé de paramètres techniques d'état de biens à l'aide de mesures effectuées d'équipements de mesure individuels (prélèvement de fluides ou de matière,...).</p> <p>Exemples en correctif : Diagnostic ; Réparation d'une fuite de fluide frigorigène (groupe de froid) ; Reprise de calorifuge ; Diagnostic d'état avec usage d'équipements de soutien portatifs et individuels (pocket automate, multimètre) ; Remplacement d'organes et de composants par échange standard de technicité générale, sans usage de moyens de soutien communs ou spécialisés (carte automate, vérin, pompe, moteurs, engrenage, roulement,...) ; Dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure et de diagnostics individuels.</p>
Niveau 4	<p>Définition : Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés.</p> <p>Intervenant : Technicien ou équipe spécialisée</p> <p>Exemples en préventif : Révisions partielles ou générales ne nécessitant pas le démontage complet de la machine ; Analyse vibratoire ; Analyse des lubrifiants ; Thermographie infrarouge (installations électriques, mécanique, thermique,...) ; Relevé de paramètres techniques nécessitant des moyens de mesure collectifs (oscilloscope, collecteur de données vibratoires) avec analyse des données ; Révision d'une pompe en atelier, suite à dépose préventive.</p> <p>Exemples en correctif : Remplacement de clapets de compresseur ; Remplacement de tête de câble en BTA ; Révision d'une pompe en atelier spécialisé suite à dépose préventive ; Réparation d'une pompe sur site, suite à une défaillance ; Dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure ou de diagnostics collectifs et/ou de forte complexité (valise de programmation automate, système de régulation et de contrôle des commandes numériques, variateurs,...) ; Reprise de clôture extérieure ; Remplacement d'une porte et mise en peinture ; Réparations de fissures et défauts d'étanchéité ; Reprise de fuite de toiture.</p>
Niveau 5	<p>Définition : Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Ce sont des opérations de rénovation, reconstruction, etc.</p> <p>Intervenant : Constructeur ou société spécialisée</p> <p>Exemples : Révisions générales avec le démontage complet de la machine ; Reprise dimensionnelle et géométrique ; Réparations importantes réalisées par le constructeur ou le reconditionnement de ses biens ; Remplacement de biens obsolètes ou en limite d'usure.</p>

Chapitre 2 : LES DEFAILLANCES

1 – DEFAILLANCES ET PANNES

1.1 Quelques définitions (norme NF EN 13306)

- **La défaillance** : Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise.
- **La panne** : État d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures.

Remarque : Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. Une défaillance est un événement à distinguer d'une panne qui est un état.

☞ Les causes de défaillance

Ce sont les raisons de la défaillance. Les raisons peuvent résulter d'au moins un des facteurs suivants : défaillance due à la conception, à la fabrication, à l'installation, à un mauvais emploi, par fausse manœuvre, à la maintenance.

☞ Les modes de pannes

Un mode de panne est la façon par laquelle est constatée l'incapacité d'un bien à remplir une fonction requise.

Remarque : L'emploi du terme "mode de défaillance" dans ce sens est déconseillé par la norme.

☞ Le mécanisme de défaillance

Le mécanisme de défaillance correspond aux processus physiques, chimiques ou autres qui ont conduit à une défaillance.

2 – CLASSIFICATION DES DEFAILLANCES

La classification d'une défaillance peut se faire en fonction des critères suivants (norme X60-500) :

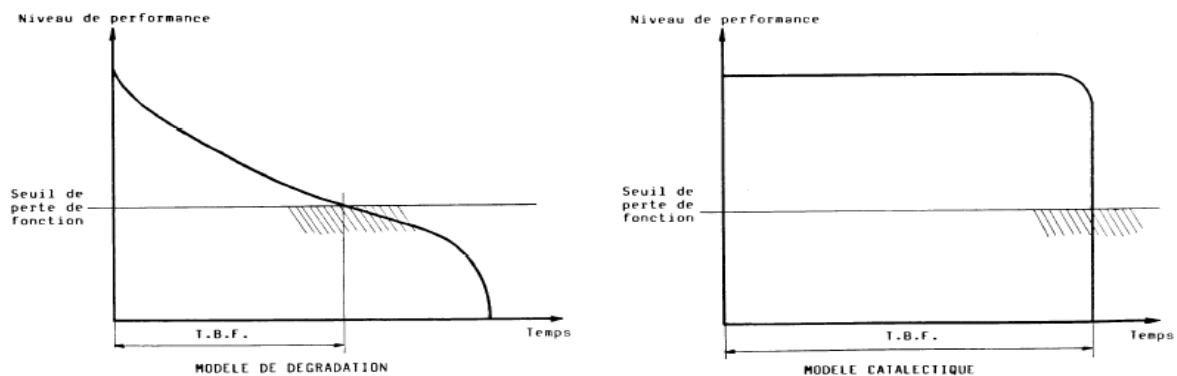
DEFAILLANCE	En fonction de la vitesse d'apparition	Défaillance progressive	Evolution dans le temps de certaines caractéristiques d'une entité
		Défaillance soudaine	Evolution quasi instantanée des caractéristiques d'une entité
	En fonction de l'instant d'apparition	Défaillance en fonctionnement	Se produit sur l'entité alors que la fonction requise est utilisée
		Défaillance à l'arrêt	Se produit sur l'entité alors que la fonction requise n'est pas utilisée
		Défaillance à la sollicitation	Se produit au moment où la fonction requise est sollicitée
	En fonction du degré d'importance	Défaillance partielle	Entraine l'inaptitude d'une entité à accomplir certaines fonctions requises
		Défaillance totale	Entraine l'inaptitude totale d'une entité à accomplir la fonction requise
	En fonction de la vitesse d'apparition et du degré d'importance	Défaillance par dégradation	Qui est à la fois progressive et partielle
		Défaillance catalectique	Qui est à la fois soudaine et complète
	En fonction des causes	Défaillance par faiblesse inhérente	Due à la conception ou à la fabrication de l'entité
		Défaillance par emploi inapproprié	Les contraintes appliquées dépassent les possibilités de l'entité
		Défaillance par fausse manoeuvre	Opération incorrecte dans l'utilisation de l'entité
Défaillance par vieillissement		Dégradation dans le temps des caractéristiques de l'entité	

DEFAILLANCE	En fonction de son origine	Défaillance interne à l'entité	L'origine est attribuée à l'entité elle-même.
		Défaillance externe à l'entité	L'origine est attribuée à des facteurs externes à l'entité elle-même.
	En fonction des conséquences	Défaillance critique	Susceptible de causer des dommages (aux personnes, biens, environnement)
		Défaillance majeure	Affecte une fonction majeure de l'entité
		Défaillance mineure	N'affecte pas une fonction majeure de l'entité
	En fonction de leur caractère	Défaillance systématique	Liée d'une manière certaine à une cause
		Défaillance reproductible	Peut être provoquée à volonté en simulant ou reproduisant la cause
		Défaillance non reproductible	La cause ne reproduit jamais la défaillance

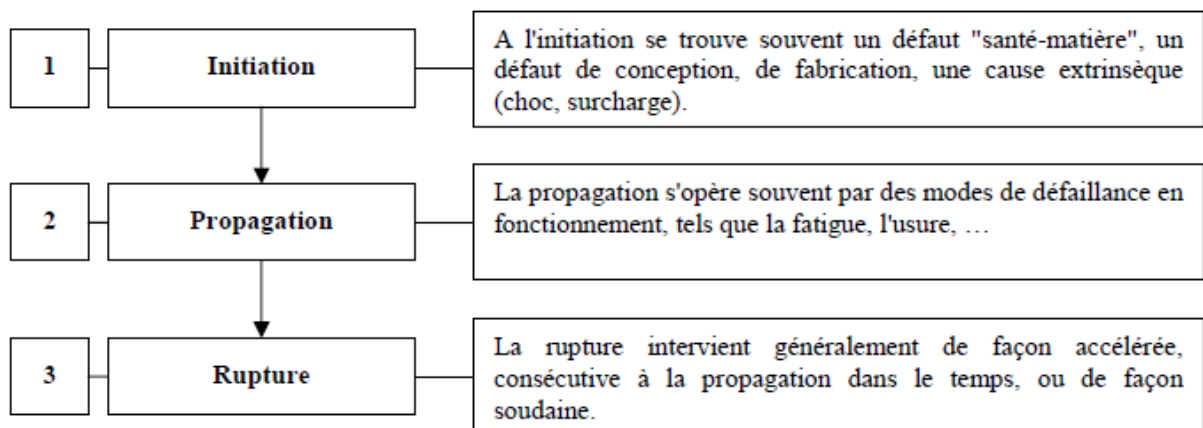
3 – EVOLUTION DES DEFAILLANCES

3.1. Evolution de la défaillance dans le temps

Deux modèles de défaillance peuvent être envisagés selon leur type d'apparition :



3.2. Processus d'évolution d'une défaillance mécanique



4 – MECANISMES DE DEFAILLANCE

4.1. Les défaillances mécaniques

4.1.1 – Défaillance par usure

Le mode de défaillance par usure est présent dès que deux surfaces en contact ont un mouvement relatif (plan/plan ou cylindre/cylindre).

4.1.2 – Défaillances mécaniques par déformation plastique

▪ Les différentes déformations

L'essai de traction met en évidence, suivant la sollicitation appliquée à l'éprouvette, une zone de déformation élastique et réversible, puis plastique et non réversible.

La déformation élastique sous contrainte de fonctionnement n'est pas une défaillance en soi, de par sa réversibilité, sauf cas d'application particulier : un allongement peut par exemple créer une perte d'étanchéité.

Par contre, les déformations plastiques permanentes sont des défaillances en elles-mêmes, puisque irréversibles. De plus, elles constituent un risque de rupture ultérieure de nature catalectique, donc dangereux.

☞ Déformation plastique sous contrainte mécanique

Ces déformations dues à un dépassement de la limite élastique R_e (à cause d'un choc, d'une surcharge) peuvent être locales (marquage, empreintes sur engrenage) ou étendues à un profil ou une section. Une inspection à ce stade d'apparition d'une striction (zone de diminution de la section) peut prévenir le risque d'une rupture prochaine.

☞ Déformation plastique sous contrainte thermique : le fluage

Le fluage est une déformation apparaissant sous contrainte mécanique associée à une température de service supérieure à $0.4 T_f$ (température de fusion), soit à partir de 450°C pour les aciers. La vitesse de fluage peut être rapide (contrainte forte à température faible) ou lente (contrainte faible à température forte).

4.1.3. Défaillances mécaniques par fatigue

On entend par fatigue, la modification des propriétés des matériaux consécutive à l'application de cycles d'efforts, cycles dont la répétition conduit à la rupture des pièces constituées avec ces matériaux.

Le phénomène de fatigue peut apparaître pour des contraintes inférieures à la limite élastique du matériau.

L'origine de la rupture est due à une fissuration progressive qui s'étend jusqu'à ce que la section transversale ne puisse plus supporter l'effort appliqué.

➤ Les défaillances par corrosion

La corrosion est l'ensemble des phénomènes chimiques et électrochimiques sur les matériaux métalliques résultant du milieu ambiant. L'influence du milieu ambiant conduit un métal à passer de son état métallique à l'état de sels (oxydes, sulfures, carbonates,...).

➤ Les causes de la corrosion

_ Les facteurs climatiques et géographiques

- Degré hygrométrique de l'atmosphère, précipitations
- Variations de la température et de la pression qui provoquent de la condensation
- Vents transportant des matières abrasives
- Degré de salinité de l'air

- Taux de produits chimiques en suspension dans l'atmosphère

_ Les assemblages hétérogènes

- le contact de deux matériaux différents, même non corrodables, peut conduire à la corrosion électrolytique ou chimique.

_ Les contraintes mécaniques

- La corrosion se propage et pénètre plus facilement dans un métal sous tensions internes.

- Un métal écroui est capable de céder des électrons plus facilement qu'un métal recristallisé.

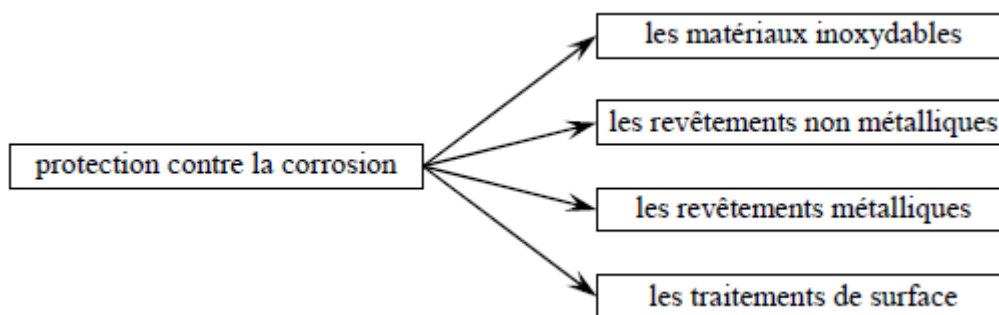
_ La circulation de courants électriques

- En présence d'humidité, la circulation de courant dans les assemblages conduit à des phénomènes d'oxydation.

_ Les traitements thermiques

- En modifiant la structure d'un métal, un traitement thermique peut faire apparaître une dissymétrie entre les grains et leur voisinage immédiat, et être à l'origine d'une corrosion inter granulaire localisée aux joints des grains.

➤ Protection contre la corrosion



5. MODES DE DEFAILLANCE DES PIÈCES PLASTIQUES ET COMPOSITES

Les pièces à base de polymères, généralement associées au sein des systèmes à des pièces métalliques, ont des modes de défaillance semblables : usure, fatigue, rupture statique, fluage,...

Par contre, elles sont plus sensibles à l'influence du milieu ambiant : température, rayons ultraviolets, atmosphère,...

5.1 – Rupture mécanique des plastiques

Comme pour les métaux, l'initiation provient d'un défaut matière ou d'une zone faible à partir de laquelle une fissuration va se propager sous contrainte et sous influence de l'environnement.

Les thermoplastiques, formés de chaînes macromoléculaires non liées, se déformeront, évoluant vers une rupture plus ou moins ductile.

Les thermodurcissables, formés de réseaux tridimensionnels, donc peu déformables, évoluent vers une rupture "fragile".

5.2 – Vieillessement des composites

6. MODES DE DEFAILLANCE DES PARTIES COMMANDES

6.1 – Modes de défaillance relatifs à la logique câblée

a) relais électromagnétiques

Les modes de défaillance les plus fréquents sont :

- bobine de commande coupée, ou en court-circuit
- contacts soudés, collés fermés, érodés, corrodés ou "rebondissant"
- armature mobile bloquée
- défaut d'isolement d'un contact avec la carcasse métallique

b) composants électroniques passifs

Les résistances ne s'usent pas, mais peuvent subir des surintensités qui créent des coupures ou du court-circuit. Leur valeur peut être affectée par des variations thermiques.

Les condensateurs s'usent sous tension et ils sèchent hors tension (gare à l'allumage après arrêt prolongé). Les surcharges provoquent la rupture du diélectrique.

c) composants électroniques actifs

Ce sont les transistors et les circuits intégrés, mais aussi les thyristors et les triacs pour les circuits de puissance.

Des tests de détection permettent de dire si le circuit est correct ou non. La localisation permet de situer le défaut au sein du composant.

Les mécanismes de défaillance concernent surtout les jonctions électroniques (semi-conducteurs thermosensibles) et se manifestent par des collages à 0 ou à 1.

Les causes potentielles de défaillance peuvent être :

- les surcharges
- les décharges électrostatiques
- les chocs thermiques
- le fonctionnement à basse température

d) Conducteurs et connexions

La connectique est la source de bien des défaillances intermittentes ou fugitives qu'il faut suspecter et vérifier avant de chercher à localiser des défauts internes. La fiabilité des connecteurs (cosses, soudures,...) devrait être au moins de même valeur que celle des technologies associées, en logique câblée ou programmée.

La fiabilité opérationnelle de la connectique est dépendante des conditions de l'environnement (corrosion et vibrations principalement).

6.2 – Modes de défaillance relatifs à la logique programmée

La logique programmée est par nature sensible aux perturbations énergétiques (surtension d'entrée), thermiques et surtout électromagnétiques de l'environnement. Dans un système programmable, se retrouvent les composants actifs et passifs précédents, mais également des composants électroniques programmables, de fonction paramétrable et modifiable.

a) Défaillance des automates programmables

Un automate est plus vulnérable par son intégration à son environnement et par son utilisation que par ses faiblesses intrinsèques. 90% des défaillances proviennent des cartes d'entrée-sortie et sont dues principalement à des surtensions en entrée.

b) Défaillances logicielles

Les défaillances logicielles sont dues principalement à des erreurs humaines ayant pour cause un manque de rigueur (syntaxe), de logique ou d'attention (oublis).

6.3 – Modes de défaillance par incompatibilité électromagnétique

La compatibilité électromagnétique est l'aptitude d'un équipement à bien fonctionner dans son environnement électromagnétique, et sans produire lui-même de perturbations à cet environnement (pollution électromagnétique).

Les perturbations se matérialisent sous forme de pannes fugitives ou de perte de mémoire.

Exemple d'appareils perturbateurs : téléphones portables, radars

Chapitre 3 : DANGER ET RISQUE

1-INTRODUCTION

Aujourd'hui les accidents industriels ou le risque majeur et les catastrophes industrielles menacent le monde industriel plus qu'hier, pour cela les experts de l'industrie font des efforts pour maîtriser la sécurité des installations industrielles à partir de nouvelles méthodes, démarches et recherche, ils ont intégré des mesures de réduction des risques (barrière de sécurité) comme des moyens importants de prévention et pour maîtriser efficacement les déviations possibles du procédé.

L'objectif de ce chapitre est d'introduire la notion de barrière de sécurité (**BS**) en expliquons les différents types et leurs techniques d'évaluation.

2-GENERALITE SUR LE RISQUE

2.1-Le Danger et le Risque :

a- Danger : Conséquences néfastes associées à un aléa (hasard, coïncidence).

b- Risque : Mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et/ou de la mesure associée à ses effets et conséquences.

Par conséquent, le risque pourra être quantifié à partir de la probabilité d'occurrence P et de la gravité G de l'événement non souhaité.

Qu'est-ce qu'un risque majeur ?

Le risque majeur est la possibilité que survienne un événement d'origine naturelle ou anthropique (Occasionné par l'homme), dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société.

2.2- Liaisons d'un risque majeur est liée

D'une part à la présence d'un événement, qui est la manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique, caractérisé par l'aléa ; d'autre part à l'existence d'enjeux, qui représentent l'ensemble des personnes et des biens pouvant être affectés par un phénomène. Les conséquences d'un risque majeur sur les enjeux se mesurent en termes de vulnérabilité.

Un risque majeur est caractérisé par sa faible fréquence et par son énorme gravité (nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement).

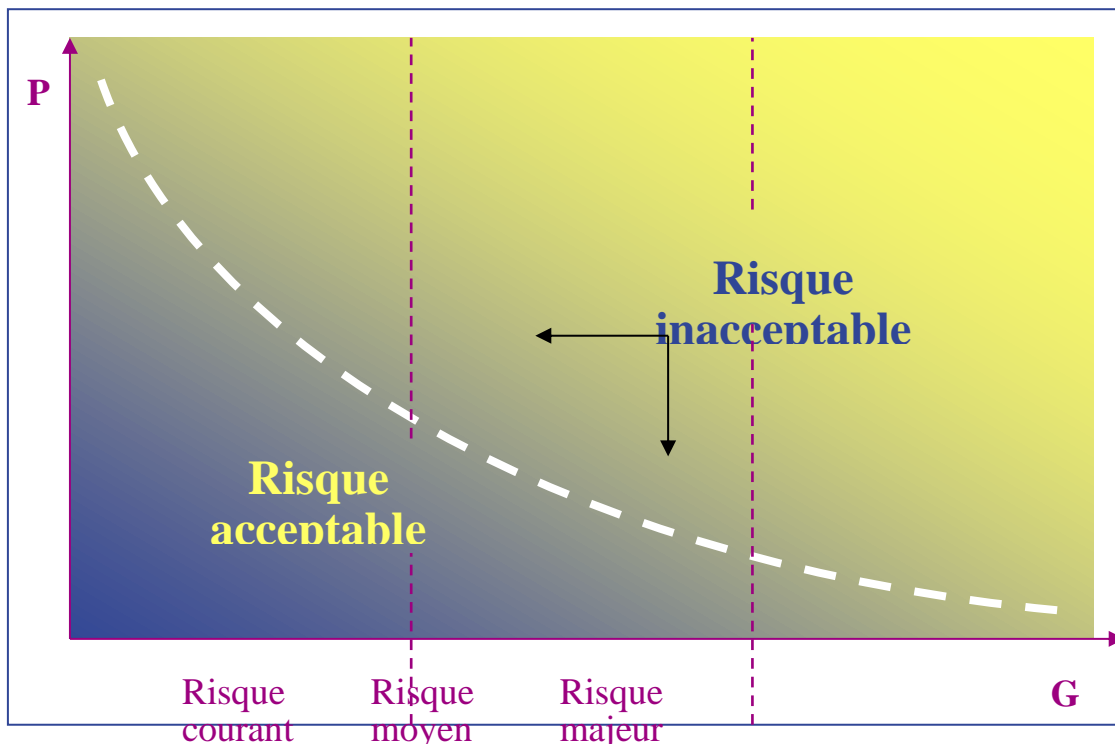


Figure 1 : Courbe de Farmer.

2.3-Les différents Types de Risques Majeurs:

Les différents types de risques auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en 5 grandes familles :

- a- **Les Risques Naturels** : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique ;
- b- **Les Risques Technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaire, biologique, rupture de barrage...
- c- **Les Risques de Transports Collectifs** (personnes, matières dangereuses) : sont des risques technologiques. On en fait cependant un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident.
- d- **Les Risques de la vie Quotidienne** : (accidents domestiques, accidents de la route...).
- e- **Les Risques liés aux Conflits** : Seules les trois premières catégories font partie de ce qu'on appelle le risque majeur.

Deux critères caractérisent le risque majeur :

- 1- **Une faible fréquence** : l'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes ;
- 2- **Une énorme gravité** : nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.

Les risques liés aux conflits sont apparentés aux risques majeurs : en effet, dans notre société développée, ils sont caractérisés par ces deux critères. Un événement

potentiellement dangereux -ALÉA n'est un (RISQUE MAJEUR) que s'il s'applique à une zone où des ENJEUX humains, économiques ou environnementaux (sont en présence. D'une manière générale le risque majeur se caractérise par de nombreuses victimes, un coût important de dégâts matériels, des impacts sur l'environnement : la VULNÉRABILITÉ mesure ces conséquences.

- le "**risque technologique**" se rapporte aux installations fixes (incendies et explosions).
- les "**risques de transports**" regroupent les trafics aériens, maritimes, fluviaux et terrestres (passagers et marchandises).
- la rubrique "divers" regroupe les carrières, les mines, les effondrements de bâtiments, ponts, tunnels.

2.3.1-Le risque industriel:

Un risque industriel majeur est un événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les populations avoisinantes, les biens et/ou l'environnement.

Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont répertoriés et soumis à une réglementation stricte (réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement – ICPE) et à des contrôles réguliers.

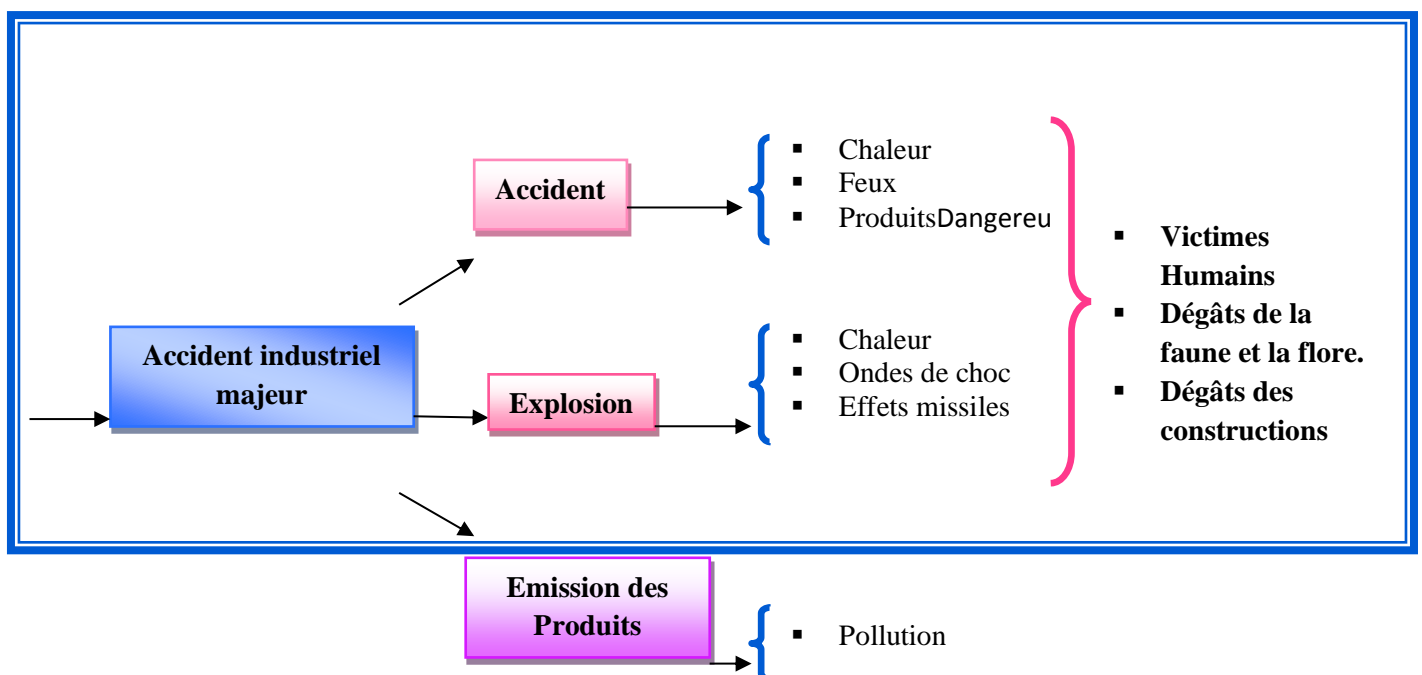


Figure 2 : Conséquences d'Accidents Industriels Majeurs.

2.3.2-Accident majeur (Réf. directive 96/82/CE ; SEVESO 2) :

Un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation, entraînant pour la santé humaine ou pour l'environnement, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses.

Les installations sont classées en trois catégories :

- Les installations soumises à déclaration sont celles qui ne présentent pas de graves dangers ou inconvénients et celles dont les dangers présentés peuvent être compensés par le respect de dispositions techniques simples.
- Les installations soumises à autorisation et devant faire l'objet d'études d'impact et de dangers sont celles qui présentent de graves dangers ou inconvénients.
- Les installations visées par la directive **SEVESO**. Elles se répartissent en deux catégories « Seuil bas » et « seuil haut » selon la dangerosité et/ou la quantité des produits utilisés. Elles font l'objet de mesures particulières et d'un suivi des installations.

Dans la suite, on s'intéressera essentiellement aux sites classés **SEVESO** qui présente les risques les plus importants.

La directive européenne **SEVESO**, créée en 1976 et mise à jour en 1996 avec **SEVESO 2**, puis sept ans plus tard avec la loi « risque » du 30 juillet 2003, concerne certaines installations classées pour la protection de l'environnement utilisant des substances ou des préparations dangereuses.

Cette directive **SEVESO 2** sera remplacée au 1er juin 2015 par la directive **SEVESO 3**. Il s'agit, pour l'essentiel, de raffineries de produits pétroliers, d'entreprises de chimie ou d'unités de stockage de gaz et de liquides inflammables. Comme évoqué précédemment, cette réglementation introduit deux seuils de classement : **SEVESO** « seuil bas » et **SEVESO** « seuil haut ».

3-DEFINITION D'UNE BARRIERE DE SECURITE (BS)

Les barrières de sécurité sont représentées par l'ensemble des éléments techniques et organisationnels permettant d'assurer la totalité des exigences d'une **fonction de sécurité**. Et on peut définir les (BS) comme étant tout dispositif instrumental mécanique ou procédural, permettant de prévenir ou de réduire la probabilité d'occurrence d'un événement redouté ou en limiter les conséquences.

Les barrières de sécurité sont nommées, élément important pour la sécurité (**EIPS**) line of défense ou couche de protection.

L'union des industries chimiques (**UIC**) propose la définition suivante : Un élément est important pour la sécurité (**EIPS**) s'il est choisi par l'exploitant, dans le cadre de l'analyse des risques, comme devant constituer la dernière barrière sur laquelle il se reposera, pour limiter la dérive d'un paramètre ou compenser une défaillance, qui si elle n'était pas maîtrisées pourrait conduire à un **accident majeur**.

4-CLASSE DES BARRIERES DE SECURITE

Les barrières de sécurité (ou mesures de maîtrise des risques) sont classées en trois catégories :

- ❖ Le type de barrière (active ou passive).
- ❖ La fonction de la barrière (prévention ou protection).
- ❖ Les barrières humaines.

4.1-Type de barrière :

4.1.1-Barrière passive :

Une barrière de sécurité est passive si elle n'a pas besoin d'action humaine, d'énergie ou de sollicitation pour remplir sa fonction.

Exemple : cuvette de rétention, arrête-flamme, mur coupe-feu...etc.

4.1.2- Barrière active :

Une barrière est active si elle nécessite une énergie ou sollicitation (action automatique ou manuelle) pour remplir sa fonction.

Exemple : Clapet anti-retour, soupape de décharge.

Remarque : une vanne de sécurité n'est pas considérée comme un dispositif de sécurité, car elle n'assure pas à elle seule une fonction de sécurité dans sa globalité

4.2- Selon la fonction de barrière :

La sécurité d'une installation est assurée à différents niveaux dans l'évolution d'une dérive susceptible de conduire à un accident. On distingue donc des (BS) assurant des fonctions de prévention, de protection et d'intervention.

4.2.1-Barrière de prévention :

Une barrière de prévention permet de prévenir l'occurrence d'un événement redouté. Elle peut assurer le suivi d'un paramètre qui, en cas de dérive peut entraîner la perte de contrôle de l'installation et aboutir à un accident majeur.

Exemple : couche protectrice, contrôle d'accès au site

4.2.2- Barrière de protection :

Une barrière de protection permet de limiter les conséquences d'un événement redouté.

Exemple : couronne de refroidissement, mur de sécurité

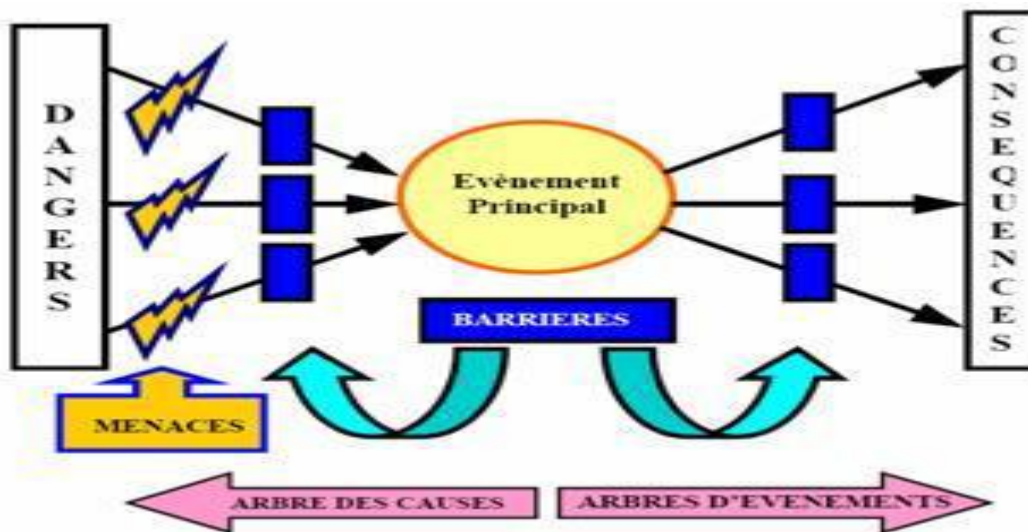


Figure 3: Rôle des Barrières de Sécurité

4.3-Barrière technique de sécurité (BTS) :

La barrière technique de sécurité assure une fonction de sécurité. Elle est constituée d'un dispositif de sécurité ou d'un système instrumenté de sécurité qui s'oppose à l'enchaînement d'événement susceptible d'aboutir à un accident.

On les appelle aussi des Mesures de Maîtrise des Risques (MMR).

4.4-Les barrières humaines de sécurité (BHS) :

Les barrières humaines de sécurité sont constituées d'une **activité** humaine (une ou plusieurs opérations) qui s'oppose à l'enchaînement d'évènements susceptibles d'aboutir à un accident. Comme les barrières techniques de sécurité, les barrières humaines de sécurité se définissent par la fonction de sécurité qu'elles assurent vis-à-vis d'un **scénario d'accident majeur**.

Exemples de barrières humaines de sécurité :

- Opération de contrôle de l'étanchéité d'un circuit conditionnant la mise en service du circuit.
- Action de fermeture manuelle d'une vanne suite à la détection visuelle d'une augmentation anormale de la pression d'un réacteur.

Remarque : une vanne de sécurité n'est pas considérée comme un dispositif de sécurité, car elle n'assure pas à elle seule une fonction de sécurité dans sa globalité. Il faut une action humaine et/ou une source d'énergie externe pour l'actionner.

Barrière Actif	Barrière Passif
Soupape de Sécurité	Murs de Confinement
Clapet Anti-retour	Toit Flottant de Bacs
Double Clapet de Rupture	Murs Coupe-feu sans Ouverture
Clapet Excès de Débit	Talus de Réservoirs
Events de Respiration de Bacs avec Ressorts	Events de Respiration de Bacs sans Ressort
	Arrête-flamme
	Disque de Rupture
	Cuvette de Rétention
	Ecrans de Protection Mécanique ou Thermique
	Réducteur de Débit sans Ressort

Tableau 1 : Exemples de Dispositifs Classés Selon Leur Type

5- SYSTEMES INSTRUMENTES DE SECURITE (SIS)

Les systèmes instrumentés de sécurité sont des combinaisons de capteurs, d'unité de traitement et d'actionneurs (équipements de sécurité) ayant pour objectif de remplir une fonction ou sous-fonction de sécurité⁷. Un **S.I.S** nécessite une énergie extérieure pour initier ses composants et mener à bien sa fonction de sécurité.

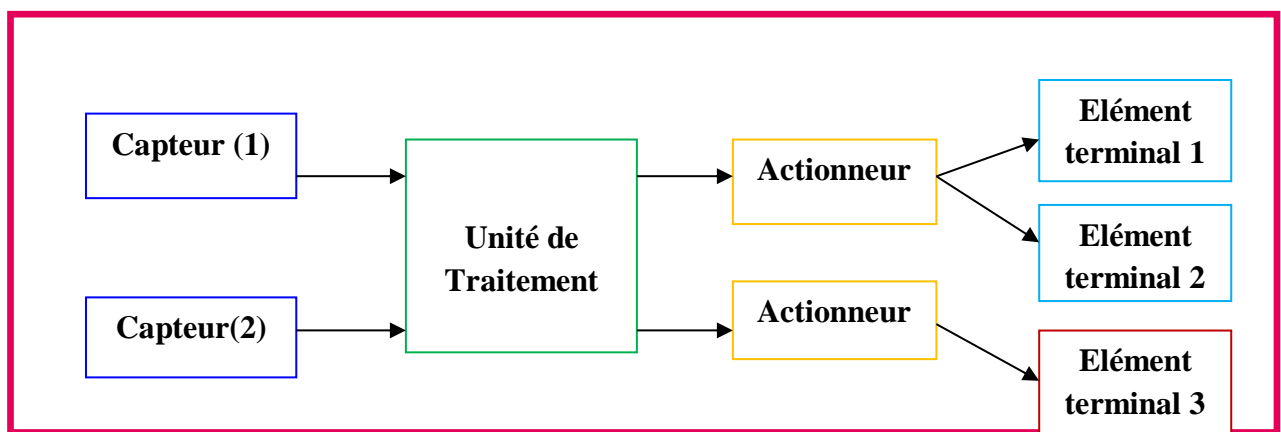


Figure 4 : Schéma d'un S.I.S.

5.1-Sous-fonction de Sécurité "Détection" :

Cette sous-fonction de sécurité peut être assurée par différents détecteurs de paramètres (pression, température, débit, concentration...). Ils sont traités ici de façon générique.

Un détecteur de paramètre est généralement constitué de 2 éléments :

- Le capteur : qui est l'élément sensible responsable de la transformation d'une information physique (pression, température, débit, concentration...) en grandeur électrique adaptée au traitement. Le capteur ne fait pas intervenir de microprocesseurs.
- Et le transmetteur : qui assure le conditionnement du signal émis par le capteur pour l'interface utilisateur. Le signal transmis peut être un signal analogique 4-20 mA ou un signal de type binaire Tout ou Rien (1/0). Dans ce dernier cas, un contact sec (relais) réalise le traitement de l'information. Le transmetteur est soit analogique, soit numérique (système avec microprocesseur ou logique programmable). Le transmetteur, suivant les cas (et ses possibilités), est connecté soit à l'entrée d'une unité de traitement, soit directement à un actionneur.

5.2-Sous-fonction de Sécurité "Traitement de l'Information" :

La sous-fonction "traitement de l'information" peut être plus ou moins complexe.

Elle est principalement réalisée par des relais ou par des automates programmables. Elle peut se résumer simplement à acquérir une grandeur mesurée par un capteur et à l'indiquer. Elle peut aussi consister à activer la commande d'un ou plusieurs actionneurs à partir d'une fonction combinatoire des informations délivrées par différents capteurs. Les unités de traitement peuvent être classées en deux catégories selon leur technologie :

- Les technologies câblées, à base de composants logiques élémentaires (relais), liés entre eux électriquement (ou de manière pneumatique ou hydraulique).
- Les technologies programmées, à base de centrales d'acquisition ou d'alarmes, d'automates programmables (**API**) dont certains peuvent être dédiés à la sécurité (**APIs**), de calculateurs industriels ou de cartes électroniques à microprocesseurs et/ou à logique programmable.

5.3-Sous-fonction de Sécurité "Action" :

La sous-fonction "action" est réalisée par des actionneurs et des éléments terminaux.

Les actionneurs transforment un signal (électrique, pneumatique ou hydraulique) en phénomène physique qui permet de commander le démarrage d'une pompe, la fermeture ou l'ouverture d'une vanne... Selon l'énergie motrice, on parle d'actionneur électrique, pneumatique ou hydraulique. Ils sont couplés aux éléments terminaux.

Les éléments terminaux sont commandés par des actionneurs. On retrouve notamment sous cette terminologie : les vannes, les machines tournantes (pompe, compresseur ...), les alarmes sonores et visuelles.

Le **SIS** pourra assurer la fonction totalement (détection, traitement, action finale) ou partiellement (le **SIS** assure par exemple la fonction de détection et de traitement jusqu'à une alarme, l'action finale peut ensuite être réalisée par une action humaine).

5.4-Catégories de Barrières Humaines de Sécurité Retenues pour la Maîtrise des Risques:

Le parti pris pour l'identification des barrières humaines est de considérer l'homme, dans un système industriel, dans sa fonction de prévenir ou de rattraper les dérives d'un procédé ou d'une activité à risques. Les activités humaines qui concourent au fonctionnement normal d'exploitation du système ne sont donc pas prises en compte. Par exemple, le chargement de réactif dans un réacteur n'est pas considéré comme une barrière de sécurité.

5.5-Autres Barrières de Sécurité:

Elles se définissent également par les éléments qui la composent : les barrières humaines de sécurité ont une composante humaine, le plus souvent associée à une composante technique (l'opérateur est à minima en interaction avec les éléments techniques du système qu'il surveille ou sur lesquels il agit). Lorsque la barrière est composée d'éléments techniques de sécurité entrant dans une chaîne de sécurité, on parle de Système à Action Manuelle de Sécurité (**SAMS**).

5.6-Analyse des risques:

5.6.1. Généralités et objectifs

Généralités:

- Protéger les hommes convenablement;
- Maîtriser les risques;
- Tenir compte des possibilités financières;
- Justifier les solutions envisagées.

Objectifs:

- Analyse de la vulnérabilité;
- Estimer le temps d'arrêt supportable;
- Trouver des solutions;
- Affiner un plan d'action.

La méthode comporte deux étapes:

1/ Analyse de la situation:

- * déterminer "les points névralgique";
- * déterminer " les points dangereux";

2/ Faire le bilan des risques:

- * Expliquer les menaces;
- * montrer l'insuffisance des obstacles pourront s'opposer aux menaces;
- * proposer plusieurs solutions;
- * élaborer un plan d'action.

C'est à partir de ces éléments que la direction pourra prendre ces décisions et définir sa politique de prévention incluse dans la politique de gestion de l'entreprise.

5.6.2 Analyse des conditions de travail

5.6.1 Indicateurs d'analyse

Pour un diagnostic sommaire des conditions de travail on a les indicateurs suivants :

- **Indicateurs simples:**

- Plaintes individuelles ou collective; -Absentéisme et rotation du personnel;
- Tf et Tg des accidents; -Niveau de production et qualité.

- **Indicateurs physiologiques:**

- Fréquence cardiaque; -Volume d'air expiré;
- activité de certains muscles; -Seuil critique de fusion optique;
- Potentiel évoqué cervicaux.

- **Indicateurs du processus technique:**

- Analyse des accidents de travail.

- **Indicateurs subjectifs:**

- Analyse basée sur l'appréciation que portent les travailleurs sur le milieu de travail.

5.6.3 La maîtrise du risque

5.6.3.1 Principes généraux

Au niveau de l'entreprise on a trois types de structures à savoir:

- Structure décisive;
- Structure d'exécution;
- Structure de contrôle.

Décision relèvent Stratégie de l'entreprise;

Exécution Assurance et sécurité;

Contrôle Organismes habilités.

5.6.3.2 Traitement des risques

Les mesures de prévention à initier gravitent autour de trois pôles:

- Structure de sécurité;

- Travaux neufs;
- Organisation des moyens de production.

*Sécurité: -formation des hommes;

- définitions des moyens;

- inspection.

*Travaux neufs: -implantation;

- intégration de la sécurité;

*Organisation des moyens de production: c'est de réduire l'impact d'un sinistre sur la production:

- banalisent certains matériels;
- en constituant un parc des pièces;
- constituant des stocks de sécurité;
- diversifiant sources de fournitures;
- prévoir des plans de transferts de production au sein de l'entreprise.

Chapitre 4 : LA SURETE DE FONCTIONNEMENT (SDF)

Les préoccupations dites de sécurité sont très présentes dans le monde des machines-outils ou dans les procédés continus comme la pétrochimie. Dans les applications de type manufacturier ou batch, les préoccupations sont plutôt liées à la disponibilité. Dès lors que la sécurité ou la disponibilité d'un système est mise en défaut, on incrimine sa fiabilité. Enfin, en cas de dysfonctionnement, il convient de remettre le système en conditions de fonctionnement initial : c'est là qu'intervient la maintenabilité.

Ces quatre caractéristiques constituent la sûreté de fonctionnement d'un dispositif.

1 HISTORIQUE

Jusqu'à la Renaissance et au-delà, on a toujours pensé que la fiabilité d'une chaîne reposait sur celle de son maillon le plus faible. Ainsi, si R était la fonction de fiabilité (ou de survie), alors en fonction du temps, on pensait pouvoir écrire $R_{chaîne}(t) = \min_{1 \leq i \leq n} R_i(t)$, où les items indexent les n maillons de la chaîne.

Or, il s'est avéré que, dans une chaîne, ce n'était pas systématiquement le maillon le plus faible qui se rompait en premier. La fiabilité de la chaîne est alors devenue une certaine fonction de la fiabilité de ses maillons, les plus faibles participant davantage que les plus solides à l'éventualité d'une rupture.

a/ L'époque moderne

Par la suite, des problèmes de fiabilité se sont posés lors de la conquête de l'Ouest. Les composants mécaniques les plus critiques de l'époque étaient les roulements à billes des locomotives à vapeur ! De même, les freins de ces mêmes locomotives, en service entre 1861 et 1883, seront abandonnés pour des problèmes de fiabilité, notamment sur les connexions électriques entre les wagons, et les premiers freins pneumatiques les remplaceront. Ceux-ci sont toujours d'actualité.

b/ Les années 1970-80

En 1971 sont publiés les résultats des premiers travaux sur la fiabilité du logiciel. En 1972, EDF et le CEA mènent les premières études exhaustives sur le nucléaire. En 1975, le rapport américain Rasmussen présente une évaluation complète d'un risque nucléaire sur les centrales de Surry 1 et Peach Bottom 2 : en synthèse, le risque calculé pour les populations avoisinant lesdites centrales

est inférieur à celui que font courir les chutes de météorites. En 1979, c'est la catastrophe nucléaire de TMI (Three Miles Island) ; une manière inattendue de promouvoir les outils de sûreté de fonctionnement, puisque le scénario qui a mené à la catastrophe était quasiment décrit dans le rapport Rasmussen ! Puis ce sont les industries pétrochimiques qui procèdent à leurs premières études de risque, avant que les techniques de sûreté de fonctionnement ne soient diffusées dans la chimie, le ferroviaire, l'automobile, le traitement et l'épuration d'eau, et l'ensemble des grands secteurs industriels.

c/ Aujourd'hui

La réglementation, et les certifications qu'elle impose, a eu un double effet : le développement de l'utilisation des outils de sûreté de fonctionnement, mais également une certaine idée de la couverture des risques.

N'a-t-on pas oublié que, malgré les études, les précautions, les systèmes de sauvegarde, les protections, le risque existe toujours ?

Dans les procès qui font suite aujourd'hui à la plupart des accidents, il semble que la notion de risque ait été peu à peu effacée pour laisser place à celle de tort ou responsabilité.

Enfin, la sécurité des biens et des personnes n'a jamais semblé aussi importante qu'aujourd'hui aux yeux de nos concitoyens. En témoignent les actions vigoureuses autour de la notion de malveillance (intrusion par effraction, attaque, vol, piratage). Dans les deux cas, la pression médiatique et écologique autour des accidents notables (plate-forme Piper Alpha, accident chimique de Bophal et d'AZF, ou catastrophe aérienne de la TWA) est telle qu'elle entraîne des conséquences très lourdes pour l'entreprise.

2. LES ESSENTIELS DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

Le terme "sûreté de fonctionnement", inventé voici trente ans pour englober plusieurs concepts, n'a pas d'équivalent exact en langue anglaise.

En France, la sûreté de fonctionnement regroupe quatre notions.

- a) **La fiabilité** : aptitude d'un système à rester constamment opérationnel pendant une durée donnée.
- b) **La maintenabilité** : c'est l'aptitude d'un système à être remis rapidement dans un état opérationnel.

Ainsi les systèmes dont les composants sont très facilement démontables peuvent bénéficier d'une meilleure maintenabilité que les autres.

c) **La disponibilité** : aptitude d'un système à être opérationnel au moment où il est sollicité. C'est une notion importante pour un appareil de sécurité tel qu'un disjoncteur par exemple.

Une disponibilité importante est compatible avec une fiabilité faible, pour peu que l'appareil puisse être réparé très rapidement.

- d) **La sécurité** : c'est l'aptitude d'un système à ne pas connaître de pannes considérées comme catastrophiques pendant une durée donnée.

On trouvera aussi l'abréviation FMDS pour désigner la sûreté de fonctionnement (comme fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité).

Les Anglo-Saxons utilisent le terme dependability, qui recouvre la fiabilité (reliability), la disponibilité (availability) et la maintenabilité (maintainability).

La sécurité est traitée à part.

Abusivement, on assimile le mot "dependability" à "sûreté de fonctionnement". On préférera le terme anglais de RAMS (pour reliability, availability, maintainability and safety).

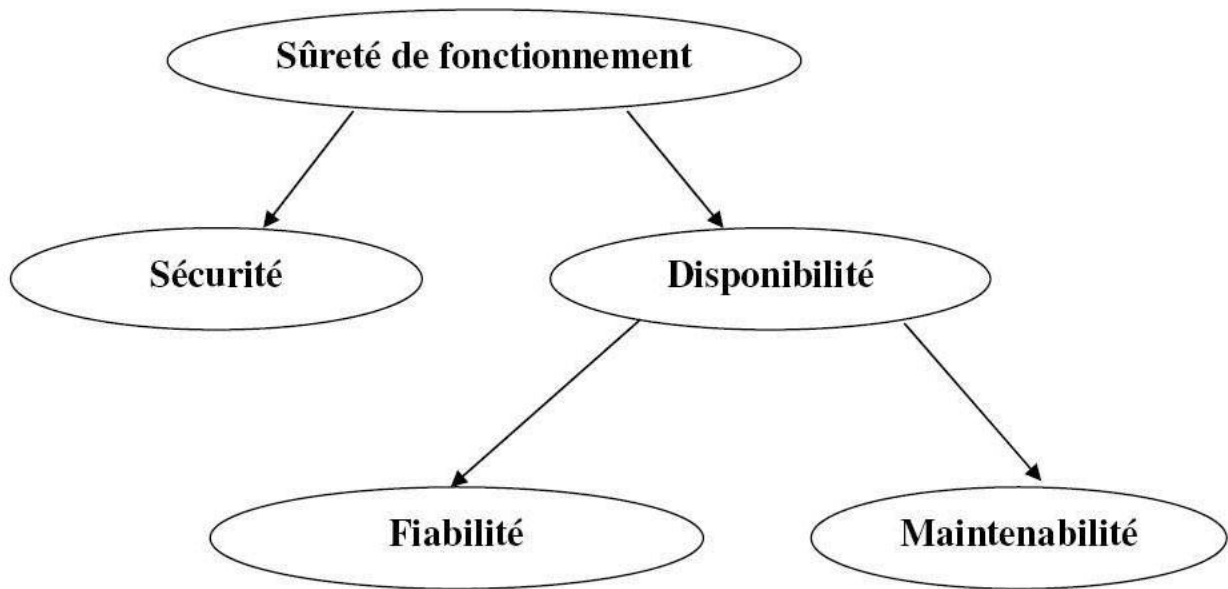


Figure 1: Différents Ingrédients de la SDF

3. LE BUT DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

La sûreté de fonctionnement est une notion générique qui mesure la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée.

Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse qualitative et quantitative des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les grandeurs probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité.

3.1 Quelques indicateurs

Certains indicateurs vont caractériser le fonctionnement prévu du système, tels que le MTTF, le MDT et le MUT.

Le MTTF (Mean Time To [first] Failure) est l'estimation de la durée moyenne s'écoulant entre la mise en service du système et la survenance de la première panne.

Le MDT est le temps moyen séparant la survenance d'une panne et la remise en état opérationnel du système. Il se décompose en plusieurs phases :

- durée de détection de la panne (1) ;
- durée de diagnostic de la panne (2) ;
- durée d'intervention jusqu'au début de la réparation (3) ;
- durée de la réparation (4) ;
- durée de remise en service du système (5).

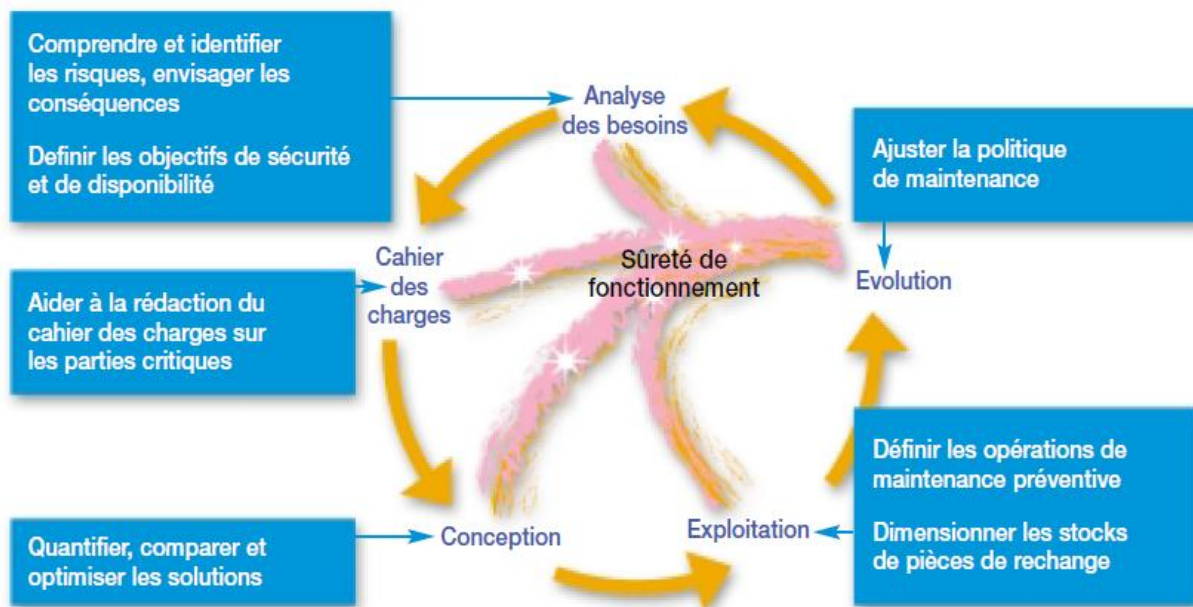
Le MUT est le temps moyen qui sépare une remise en service opérationnelle du système de la survenance de la panne suivante. Ces deux derniers indicateurs ne sont pertinents que dans le cas de systèmes réparables. Leur somme MUT+MDT représente le temps moyen qui

sépare deux pannes consécutives du système. On le note MTBF, comme Mean Time Between Failures.

3.2 Les études de sûreté de fonctionnement

Elles constituent un préalable indispensable à la conception d'un système voulu sûr, et permet d'aider à la décision en :

- comprenant et identifiant les risques ;
- optimisant l'architecture et comparant des solutions différentes ;
- optimisant les moyens de soutien en comparant des solutions ;
- justifiant les choix de façon rationnelle et démontrée ;



- vérifiant la bonne atteinte des objectifs de sûreté de fonctionnement. Elles peuvent aussi aider à l'optimisation en :
 - * diminuant le nombre de pannes qui seront observées durant la vie du système ;
 - * optimisant économiquement la conception par le dimensionnement des équipements et des architectures au "juste nécessaire" ;
 - * rendant la maintenance plus ciblée et plus efficace ;
 - * dimensionnant au plus juste les moyens de soutien nécessaires (stocks de pièces de rechange).

3.2.1 Etape par étape

La première étape consiste à analyser rigoureusement le besoin pour comprendre et identifier l'ensemble des risques, et envisager leurs conséquences. Ensuite, des niveaux d'acceptabilité sont attribués pour ces risques (on parle d'objectifs de F, M, D et/ou S selon les systèmes).

L'identification précise de ces risques va aider à la rédaction du cahier des charges du système, précisément sur ses parties critiques.

Il faudra alors imaginer des solutions techniques, des architectures adaptées qui, toutes, seront quantifiées d'un point de vue sûreté de fonctionnement, comparées entre elles et, si nécessaire, optimisées.

Une fois la solution retenue, il sera nécessaire de préciser les conditions d'une exploitation la plus efficace possible en :

- ✓ définissant les opérations de maintenance préventive nécessaires pour maintenir les caractéristiques de sûreté de fonctionnement au niveau voulu, sans dégradation des équipements préjudiciable à l'une des quatre composantes ;
- ✓ dimensionnant les stocks de pièces de rechange au plus juste, sans dégrader la disponibilité du système.

3.2.2 Etudes périphériques

Cette recherche de l'optimisation des tailles de stocks de pièces de rechange (suffisamment de pièces en regard de l'aptitude du système à tomber en panne, mais pas trop de pièces pour éviter des immobilisations financières inutiles) a fait l'objet d'études particulières où ce souci d'optimisation est couplé avec une démarche analogue sur :

- * la maintenance des équipements (pas trop fréquemment pour ne pas grever la disponibilité du système, mais suffisamment pour ne pas laisser se développer une dérive importante de la fiabilité) ;
- * l'ordonnancement des transports de pièces (par route, mer ou avion).

Il en résulte une méthodologie d'approche globale, appelée soutien logistique intégré, complémentaire aux études de sûreté de fonctionnement dans les milieux industriels. Ainsi il en est de même de la compatibilité électromagnétique, science qui s'intéresse aux influences réciproques des équipements susceptibles d'émettre des ondes et ainsi de perturber le fonctionnement d'autres appareils physiquement proches ou reliés.

En pratique

L'étude de sûreté de fonctionnement comporte deux volets complémentaires :

- une analyse fonctionnelle, qui va détailler la manière dont le système va opérer dans toutes ses phases de vie ainsi que les autres systèmes avec lesquels il va pouvoir interagir ;
- une analyse dysfonctionnelle, qui vise à imaginer l'ensemble des défaillances pouvant survenir n'importe où dans le système, seules ou combinées entre elles, et à analyser l'impact de ces pannes.

Les résultats de ces deux études sont mis en commun dans une modélisation du système qui va représenter virtuellement celui-ci avant sa réalisation, tant dans son fonctionnement attendu que dans les pannes susceptibles de lui arriver.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1/ **Stratégie de maintenance**, A. Belhomme, BTS Maintenance Industrielle Forges les Eaux, année 10/11.

2/ **Maintenance, méthodes et organisations** - François Monchy et Jean-Pierre Vernier - Dunod ; 08/2003

3/ **Maintenance industrielle**, Jean-Marie Auberville -Ellipses ; 05/2004

4/ **Pratique de la maintenance préventive** - Jean Heng - Dunod ; 09/2002

5/ **Maintenance industrielle** ; Abderrahim ZEGHLOUL, *Ecole National d'Ingénieur de Nime (ENIM)* Année 2003-2004

6/ **Fiabilité, Maintenance et risque**, D. J. Smith, Paris: Dunod/Usine nouvelle, 2006.

7/ **Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes**, G.Zwingelstein, Techniques de l'Ingénieur, S8250, 2009.

8/ **Maintenance et sûreté de fonctionnement**, Belhadj Djilali Abdelkadir, Université Chlef Année 2020.

9/ **Fiabilité, maintenance et risque**, Coll. Technique et ingénierie, Série Gestion industrielle SMITH David, 08-2006

10/ **Sécurité Industrielle, de la prévention des accidents à l'organisation des secours, Problèmes résolus, Etudes de cas**, Joseph Reynolds , Ryan Dupont, Louis Theodore, Polytechnica 1993.

11/ **La Maintenance et la Sécurité Industrielle dans l'Entreprise**, Rachid CHAIB, 2007 Dar El Houda, Algerie.

12/ **Management de la Maintenance Industrielle**, Mahfoud CHAFAI , OPU 2015, Algerie.