

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

Méthodologie D'analyse Des Risques Industriels HAZOP
"Cas Du Processus De Production D'ammoniac FERTIAL"

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE MECANIQUE

PRESENTE PAR : BERRAIS SAMY

DIRECTEUR DU MEMOIRE : DR Z. ZEMOURI MCA

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT: MR. R. KHELIF MCA

EXAMINATEURS: Mr. M. S. OMRI MCB

Mr. S. BOUDECHICHE. MCB

Année: 2013/2014



Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon Directeur de mémoire Madame ZEMMOURI.Z. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi,

« Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».

Je remercie mes frères Abderrahmane et Walid, pour leur encouragement.

Je remercie très spécialement Ilyes, Hiba, Malek, Ala qui ont toujours été là pour moi.

Je tiens à remercier tous mes camarades de promotion, pour leurs amitiés, leurs soutiens inconditionnel et leurs encouragements.

Enfin, je remercie tous mes Ami(e)s que j'aime tant, pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.



Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et tous mes ami(e)s qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes professeurs de l'UBMA qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Table des matières

Description de l'entreprise et de l'unité (Chapitre I).....	1
Historique de l'entreprise FERTIAL	2
Présentation de l'entreprise.....	3
Principales activités de l'entreprise.....	4
Unités de l'entreprise	5
Production de l'entreprise	7
Généralités sur les pompes (Chapitre II)	9
Classification des pompes	10
Pompes centrifuges	11
Principe de fonctionnement.....	12
Caractéristiques de la pompe.....	14
Rendement de la pompe	15
Avantages et inconvénients.....	16
Domaine d'utilisation.....	16
Éléments constitutifs de la pompe.....	17
Généralités sur la maintenance (Chapitre III)	21
Généralités sur la maintenance (Partie I)	22
Définition nominative	23
Typologie de la maintenance des machines	23
Rôle de la maintenance	24
Défaillances et entretien des pompes	25
Principales causes de défaillances.....	25
Diagnostic des pannes des pompes (partie II).....	29
Diagnostic de panne des pompes hydrauliques volumétriques.....	30
Diagnostic de panne des pompes hydrauliques non-volumétriques.....	34
Diagnostic de panne des moteurs hydrauliques	37

Application de la loi de Weibull	41
Fiabilité associé à la MTBF	43
Notions générales sur les risques industrielles et méthodes d'analyse (Chapitre VI).....	45
Notions générales sur les risques industrielles (partie I).....	46
Définition des normes ISO	47
Analyse des risques	47
Gestion du risque.....	48
Evaluation des risques	49
Traitement du risque.....	50
Méthodes d'analyse des risques (partie II).....	53
Formalisation des étapes de l'analyse des risques.....	54
Utilisation d'un modèle d'accident	54
Sens de raisonnement	55
Méthodes principales de la sureté de fonctionnement	55
Analyse préliminaire des risques.....	55
Analyse des modes de défaillance et de leurs effets	56
Analyse par arbre des défauts.....	58
Analyse par arbre d'événements	60
Diagramme causes-conséquences	61
Méthode MOSAR	64
Principes et application de la méthode HAZOP (Chapitre V).....	67
Généralités sur HAZOP (partie I)	68
Principe et application	69
Différentes étapes de la méthode.....	70
Limites de la méthode	71
Application de la méthode HAZOP (partie II).....	73
Déroulement d'une session	74

Mots guide a appliqué	74
Enchainement de la méthode.....	75
Scénarios des accidents potentiels dans l'unité ammoniac	77

Résumé

Bien que n'apparaissant pas directement dans la valeur ajoutée des biens produits par une entreprise, la maintenance est pourtant indispensable. Vous connaissez sûrement le slogan *Sans Maîtrise, la Puissance n'est rien*, et bien dans le cas de la maintenance, on pourrait habilement le transformer en *Sans Maintenance, la Production n'est rien*.

Même si cela n'est pas totalement vrai, la maintenance joue un rôle support de plus en plus important que le monde industriel. D'une part, elle permet de maintenir des équipements en bon état de fonctionnement et d'autre part, elle augmente leur durée de vie, et permet d'assurer la production en respectant des notions de délai et de qualité.

C'est pour cela qu'il ne faut pas s'arrêter au rôle strict de l'entretien du matériel de la part des services de maintenance, mais également à :

- Améliorer la sécurité des personnes.
- Protéger l'environnement.
- Améliorer la disponibilité des équipements.
- Participer à l'amélioration de la productivité.
- Participer à l'amélioration de la compétitivité de l'entreprise.

Notre travail se focalise alors sur l'analyse des risques et sur leur maîtrise de façon à ce qu'il consiste à réduire, prévenir et garantir la sécurité des biens, des personnes et également la pérennité de l'entreprise.

Summary

While not appearing directly in the value of goods produced by a company, maintenance is indispensable. You probably know the slogan , Power is nothing, and although in the case of maintenance, it could turn skillfully into Without Maintenance, Production is nothing.

Although this is not entirely true, maintenance plays a support role more and more important that the industrial world. On the one hand, it helps to keep equipment in good working condition and secondly, it increase their lifespan and ensures production within the concepts of time and quality.

This is why it should not stop the strict role of equipment maintenance from the maintenance, but also:

- Improve the safety of people.
- Protect the environment.
- Improve the availability of equipment.
- Contribute to the improvement of productivity.
- Participate in improving the competitiveness of the company.

Our work then focuses on the analysis of risks and their control so that to reduce, prevent and guarantee the safety of goods, persons and also the sustainability of the company.

ملخص

في حين لا تظهر الصيانة مباشرة في قيمة السلع التي تنتجها الشركة، فلا غنى عنها ربما كنتم تعرفون شعار لا درجة، والسلطة لا شيء سطحيا فقط، فبمكاننا تغير ما ذكرناه، أنه في حالة عدم وجود الصيانة، يصبح الإنتاج لاشيء على الرغم من أن هذا ليس صحيحا تماما، إذ أن الصيانة تلعب دور الدعم أكثر، فهي أكثر أهمية من العالم الصناعي من ناحية، فإنها تساعد على الحفاظ على المعدات في حالة جيدة وثانيا، زيادة حياتها وضمن الإنتاج خلال مفاهيم الوقت والجودة هذا هو السبب حيث أنه لا ينبغي أن يتوقف دور الصيانة في صيانة المعدات فقط، ولكن أيضا:

- الحفاظ على تحسين سلامة الناس .
- حماية البيئة .
- تحسين توفر المعدات .
- المساهمة في تحسين الإنتاجية .
- المشاركة في تحسين القدرة التنافسية للشركة .

يتركز عملنا على تحليل المخاطر والتحكم فيها للحد ومنع وضمن سلامة البضائع والأشخاص وكذلك إستدامة الشركة

Introduction

Quand sera-t-on enfin capable de maîtriser les risques liés aux technologies que l'on met en oeuvre et sur lesquelles repose le progrès de nos sociétés industrielles ?

Si le développement économique doit s'accompagner inexorablement d'une prolifération de risques que l'on juge non maîtrisables, alors il faut se demander s'il mérite d'être vécu. Ce n'est au contraire que si l'on estime, et qu'on prouve, que ces risques peuvent être domptés et ramenés à un niveau acceptable pour toutes les parties prenantes que l'on peut justifier le progrès qui les engendre. Notre capacité à maîtriser les risques de nos entreprises humaines est ainsi notre minimum vital...

Le monde industriel se situe dans le champ de nombreux risques, qu'ils soient "traditionnels" (risques techniques, risques économiques ou risques sociétaux) ou en émergence (risques informationnels ou risques psychosociaux). Face à ces risques, les modes de gouvernance mis en place au sein des firmes doivent permettre à ces dernières d'assurer durablement leur développement. Parmi les risques que nous avons cités, nous nous intéresserons aux risques engendrés par les activités industrielles et susceptibles de causer des dommages aux personnes physiques ou morales, à l'environnement et aux biens.

La vie des systèmes industriels se décompose en plusieurs phases au cours desquelles les modes de gouvernance des risques évoluent. Pour les activités industrielles "matures", la gouvernance des risques industriels implique de résoudre un certain nombre de paradoxes :

1. Même si leurs performances se sont considérablement améliorées vis-à-vis des systèmes "pionniers" qui les ont engendrés et alors que leur contribution au progrès n'est plus nécessairement aussi visible que dans leur phase d'essor, ces systèmes industriels présentent des risques souvent considérables.

2. Au fur et à mesure de leurs développements, les outils techniques et les organisations se sont petit à petit complexifiées et l'être humain, qui a été fortement impliqué dans ce développement, se trouve souvent écarté de leurs conduites alors même qu'il reste indispensable pour récupérer leurs défaillances

Des ajustements sont indispensables pour maintenir un équilibre difficile entre bureaucratisme et autonomie locale, centralisation du contrôle et décentralisation de la connaissance, utilisation de technologies éprouvées en parallèle au développement de systèmes techniques innovants.

Pour pouvoir étudier les modes de gouvernance des risques industriels, nous nous sommes immergés dans l'application de la méthode HAZOP afin de mettre en évidence les risques du processus de production d'ammoniac d'une entreprise national FERTIAL

Ce travail se présentera en cinq parties.

- La première partie consistera à présenter l'entreprise lieu du stage.
- Dans la deuxième partie nous aborderons les notions générales sur les pompes centrifuges.
 - Dans la troisième partie nous aborderons les notions sur la maintenance: en abordant les définitions et les principes généraux aussi un diagnostic des pannes des pompes est développé.
 - La quatrième étape consiste à mettre en place les définitions et concepts reliés à l'analyse des risques tels qu'ils sont vus et reconnus par les institutions de prévention des risques.
 - Le cinquième chapitre est réservé à une application de la méthode HASOP et à l'analyse de sa pertinence.

CHAPITRE I
Description du lieu de stage

I. 1. Introduction

Dans le cadre de l'étude statistique des risques professionnels et particulièrement durant l'application des méthodes de sûreté de fonctionnement, qualitatives, semi-quantitatives et quantitatives dans les secteurs industriels, de nombreux problèmes sont rencontrés, citons le problème de l'indisponibilité de données liées aux différents éléments et paramètres d'évaluation des risques. L'analyse et l'évaluation des risques industriels exigent la disposition de certaines données et informations sur les différents composants du système étudié et donc, sur les différents paramètres caractérisant les risques. A cet égard, l'application des méthodes d'analyse et d'évaluation des risques est souvent difficile car faute de données correctes, elle est utilisée hors de son domaine de validité. Dans certains cas, les données peuvent être disponibles et connues avec précision en se référant au retour d'expérience. Cependant, ces données ne sont pas toujours adaptées pour l'analyse d'événements rares et souvent complexes tels que, les accidents majeurs pour lesquels les données statistiques ne sont pas satisfaisantes.

I.2. Historique de l'entreprise FERTIAL

A l'aube de l'indépendance, la situation du secteur de l'industrie des produits chimiques montrait une faiblesse notable dans les capacités de production installé qui se limitait à de petites unités de fabrication vétustes, utilisant des procédés archaïque c'est pourquoi la SONATRACH (société mère) a mise en œuvre une stratégie de développement globale connu à sa création, en 1972 sous le nom du complexe d'engrais phosphaté de Bône (CEPB)-puis ASMIDAL en septembre 1984, aujourd'hui FERTIAL. Cet ensemble industriel, qui a un est importance de réalisation majeure du pays, a répondu dans les faits à stratégie de développement ébauchée préalablement aux décisions, en 1966 sur la nationalisation des ressources minières du pays et de leur valorisation. En 1977, a été nue année charnière dans la via de l'entreprise «SONATRACH- CEPB », a vu sa restriction avec le délestage des activités secondaires et recentrage sur son métier de base, à savoir la fabrication de l'ammoniac et des engrais. La réalisation su complexe des engrais phosphates et azotés de **ANNABA** entre dans le cadre de la politique du développement de l'industrie pétrochimique et principalement la promotion de l'agriculture algérienne qui représente un outil indispensable dans l'indépendance du pays.

I.3. Présentation de FERTIAL (SPA)

FERTIAL en tant que EPE/SPA a été créée le 01/03/2001, le 04/08/2005 cette entreprise a été Organisé sous la forme d'une société par action (SPA): 66% groupe espagnol Vilar mir. 34% ASMIDAL-FERTAIL-Algérie qui représente un capital social de 17.697.000.00000 DA, Sa durée de vie et de 99 ans. Elle est inscrite dans le registre de commerce sous le N°036322B01 et son N° d'identification statistique 0001305053906 dans le siège social de la direction générale est située à plate forme ANNABA route des salines-BP3088.

I.4. Direction de plate forme

Il y a deux pôles industriels :

➤ **Plate forme ANNABA**

Le complexe fabriquant des engrais phosphatés, azotés et De l'ammoniac (NH_3 : 1000T/J et 1000T/J de nitrate d'ammonium).

➤ **Plate forme Arzew (ALZOFERT)**

Le complexe fabriquant des engrais azotés et de L'ammoniac (NH_3 : 1000T/J et 1500T/J de nitrate d'ammonium).

I.5. Présentation de la plate forme d'ANNABA

Elle est dirigée par un président directeur général (PDG), et elle implique environ 831 travailleurs répartis comme suit : Cadres supérieur : 51; Cadres : 389; Maîtrises : 391.

Dans le complexe, il a lieu de distinguer deux zones : La zone sud qui comprend les anciens ateliers dont le démarrage remonte à 1972 « engrais Phosphatés » et la zone nord « engrais azotés » qui comprend les ateliers dit nouveaux et le démarrage remonte à 1982.

- **ZONE SUD « Engrais phosphatés »**

Composé de trois ateliers principaux :

1. Atelier d'engrais : NPK. Et Atelier d'engrais liquide : UAN.
2. Atelier super simple phosphate : SSP.
3. Centrale utilités 1.

- **ZONE NORD « Engrais azotés »**

Cette zone comprend également cinq ensembles :

1. Atelier acide nitrique (NI) : le procédé de fabrication retenu est STAMICARBON (DMS HOLLANDE) les deux lignes de productions sont identiques et d'une capacité journalière globale de 800T/J. l'acide nitrique est composé d'air, d'ammoniac et d'eau.

2. Atelier nitrate d'ammonium (NA) : le procédé et le même que celui de l'atelier nitrique, sa capacité journalière est 100T/J,
3. Atelier d' ammoniac (NH_3).
4. L'installation de manutention et de stockage.
5. Centrale utilités 2 (CUH).

La plateforme chimique de **Fertial** est un complexe intègre disposant de filières de production complètes transformant des matières premières en engrais azotes phosphates. Les unités de production sont fournies en utilités par des unités auxiliaires (distribution électrique, eau et autres fluides) conférant au complexe une large autonomie de fonctionnement. Elle compte plusieurs unités de production d'engrais de type azotés et phosphatés ainsi que des unités d'utilités.

I.6. Principales activités de FERTIAL

FERTIAL d'Annaba présente plusieurs activités, nous pouvons citer les activités les plus importantes. Liste des produits fabriqués ou vendus par FERTIAL

Production	Capacité
<i>AMMONIAC (NH_3)</i>	1000 T/J soit 330000 T/An.
<i>ACIDE NITRIQUE</i>	02 lignes de 400 T/J soit 264000 T/An.
<i>ENGRAIS PHOSPHATES</i>	02 lignes de 1000 T/J chacune soit 500000 T/An.
<i>AMMONIUM</i>	02lignes de500t/j chacune soit330000t/An
<i>SSP (SUPER SIMPLE PHOSPHATE)</i>	1200 T/J soit 396000 T/An.
<i>UAN (UREE ACIDE NITRIQUE)</i>	600 T/J soit 198000 T/An.
<i>ENGRAIS AZOTES : NITRIQUE</i> <i>D'AMMONIAC</i>	<ul style="list-style-type: none"> • UAN 32%. • Urée 46% (importée). • Sulfate d'ammonium (importée).
Une partie du nitrate et de l'ammoniac, est autoconsommée par FERTAIL pour la production d'autres produits.	

Tableau .I.1. Liste des produits fabriqués ou vendus par FERTIAL

I.7. Objectifs de l'entreprise

Dans le cadre national du développement économique et social du pays, l'entreprise est chargée de promouvoir et développer l'industrie des engrais et produits phytosanitaire; d'exploiter gérer et rentabiliser les moyens humains, matériels et financiers dont elle dispose,

en vue de satisfaire les besoins du marché national et international; de favoriser l'épanouissement de l'esprit d'imagination et l'initiative et faire appel aux moyens locaux.

I.8. Unités

1. Centrales

Les deux centrales sont conçues à l'origine pour une couverture totale des besoins de toute la plateforme en matière d'énergie électrique, vapeur, eau déminéralisée, eau dessalée, air service et air instrument elles sont situées l'une dans la zone engrais phosphatés et l'autre dans la zone engrais azotés. La centrale I est de moindre importance avec une seule chaudière. La centrale II constitue le noyau central de la plate-forme. Elle comprend

- Deux groupes turboalternateurs
- Quatre chaudières
- Quatre dessaleurs
- Une station de déminéralisation
- Une station de compression d'air L'alimentation en électricité est pratiquement assurée par SONELGAZ à travers la sous- station.

1. Unité Ammoniac

L'unité d'une capacité de 1000 t/j produit de l'ammoniac suivant le procédé Kellogg, dont la majeure partie est destinée à l'exportation tandis que l'autre partie est utilisée comme matière première à la production de l'acide nitrique, le nitrate d'ammoniac et les engrais NPK.

2. Unité Acide Nitrique

L'unité est composée de deux lignes identiques de fabrication d'acide nitrique de 400 t/j chacune, de procédé STAMIC ARBON. L'acide nitrique est destiné à la production du nitrate d'ammonium.

3. Unité Nitrate d'Ammonium

L'unité est composée de deux lignes identiques de fabrication de nitrate d'ammonium de 500 t/j chacune, suivant le procédé STAMIC ARBON. La qualité du produit fabriqué sous forme de prills devrait avoir une teneur en azote de 33,5%. Une partie de la production est dirigée vers l'exportation tandis que l'autre est utilisée dans la formulation des engrais NPK. Le stockage du nitrate d'ammonium se fait en deux lieux: Stockage au niveau de l'unité NPK pour la fabrication des engrais phosphatés (le produit est livré sous forme de solution chaude). Stockage de nitrate d'ammonium destiné en général à l'exportation. Composé de : 05 silos pour un stockage vrac total de 1000 t, le conditionnement (en sac de 50 kg et 500 kg) et une

superficielle pour le stockage de 30 000 t de NA conditionné. Ce dernier stockage est équipé d'un système de détection et d'extinction d'incendie.

4. Unité NPK

L'unité est composée de deux lignes identiques destinées à la fabrication des engrais phosphatés du type NPK suivant le procédé PECHINEY SAINT GOBAIN. La capacité de chacune est de 1050 t/j. La capacité de stockage MP et PF est de 150 000 t. Le produit est ensuite dirigé vers l'atelier de conditionnement et d'expédition. La capacité d'ensachage en sac de 50 kg est de 1500 t/j.

5. Unité SSP

L'unité de fabrication de simple superphosphate (SSP), suivant le procédé SACKETT, a une capacité de 800 t/j (50 t/h). Le produit fabriqué est destiné à la fabrication de NPK ou commercialisé directement après granulation. La granulation et le conditionnement de ce produit se font dans les mêmes installations que les engrais NPK.

6. Unité UAN

C'est la dernière unité à voir le jour au complexe FERTIAL, cette unité est capable de produire 600 t/j de solution UAN à des teneurs de 28%, 30% et 32% N.

7. SOMIAS

Cette filiale de maintenance est composée des sections suivantes:

- Fabrication mécanique avec tours, fraiseuses, étaux limeurs...
- Chaudronnerie avec guillotine, plieuses, rouleuses, poinçonneuse...
- Electromécanique (bobinage et révision des machines électrique).
- Interventions avec leurs lots d'outillages collectifs et individuels.

Les objectifs visés par l'étude de danger sont:

- Exposer les risques qui peuvent présenter les installations en cas d'accident.
- Définir les mesures d'ordre technique propres à réduire la probabilité et les effets des accidents majeurs.

Une partie du nitrate et de l'ammoniac, est autoconsommée par FERTAIL pour la production d'autres produits.

- Es que le niveau de la trémie pilot atteint 60%, démarrer la chaîne (vitesse de translation 1.5).
- Demander à l'opérateur chaîne d'ouvrir le volet de répartition de la trémie pilot.
- Régler la hauteur de la couche (380 mm).

• Dès que le mélange arrive en bout de chaîne, arrêter les installations pour cuisson sur chaîne pendant 20 minutes.

- S'assurer de la température au niveau de la hotte (1100 à 1150 C°)
- Demander à l'opérateur chaîne d'effectuer les contrôles d'usage (humidité).
- répartition du mélange sur chaîne, cuisson.

I.9. Production de l'entreprise

La 1^{ère} tranche (engrais phosphatés) réalisée en opération KREBS est entrée en production le 15 mai 1972. Les principales unités et leurs capacités de production sont :

Unité	Capacité (tonne/an)	Observation
Acide sulfurique	495.000	Actuellement dissoute
Acide phosphatique	16.000	Temporairement dissoute
Engrais phosphatique (NPK)	550.000	Actuellement filialisée
Tripoli phosphaté	40.000	Actuellement filialisée

Tableau .I.2 . Production De L'entreprise.

I.10. Conclusion

Dans le cadre du développement économique et sociale du pays, l'entreprise est chargée de promouvoir et développer l'industrie des engrais et produits phytosanitaire; d'exploiter gérer et rentabiliser les moyens humains et matériels et financiers dont elle dispose en vue de satisfaire les besoins du marché national et l'exportation; favoriser l'épanouissement de l'esprit de l'imagination et l'initiative et faire appel au moyens locaux, développer la coopération dans le cadre de la politique nationale en la matière.

Le complexe **Fertial** est un établissement concerné par la nomenclature des installations classées, il se doit par conséquent de se mettre en conformité avec le dispositif réglementaire en se dotant d'un plan d'intervention en cas d'accidents majeurs. La direction de **Fertial** a décidé de réaliser une étude de danger de ses installations de production et d'utilités et se doter d'un plan d'intervention en réponse aux scénarios d'accidents majeurs pouvant survenir dans la plateforme. Les objectifs visés par l'étude de danger sont:

- Exposer les risques qui peuvent présenter les installations en cas d'accident.

- Définir les mesures d'ordre technique propres à réduire la probabilité et les effets des accidents majeurs.

CHAPITRE II
GENERALITES SUR LES POMPES

II.1. Introduction

Nous appelons une pompe, une machine permettant d'élever les liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, à refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression ou à mélanger un liquide avec des corps solides. Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement de l'organe actif de la pompe (roue). La différence essentielle entre les pompes et les autres éleveurs de liquide est que les pompes sont pourvues d'un organe actif qui sépare la région d'aspiration de celle du refoulement. Les pompes transmettent aux liquides qu'elles véhiculent l'énergie mécanique provenant d'une source d'énergie extérieure quelconque. A l'intérieur de la pompe, se produit donc un accroissement d'énergie du liquide. L'énergie du liquide à la sortie de la pompe est utilisée pour élever le liquide, surmonter les pertes hydrauliques dans le tuyau de refoulement. Suivant les modes de déplacement des liquides à l'intérieur des pompes, on classe ces derniers en grandes familles

II.2. Classification des pompes

I. *Pompes volumétriques (dites aussi à déplacement)*

Le principe de fonctionnement consiste en un déplacement de volume élémentaire du liquide de l'aspiration vers la région de refoulement. Ce mouvement de rotation peut être un mouvement de translation (pompes volumétriques), un mouvement de rotation (pompes rotative) ou un mouvement composé translation et de rotation. Selon le type de commande, on divise les pompes comme suite : les pompes à commande mécanique : Utilisant des moteurs hydrauliques à vapeur ou à combustion interne et les pompe à commande électrique : Utilisant des moteurs électriques.

II. *Turbopompes*

Le principe de fonctionnement consiste en un déplacement du liquide de l'aspiration vers le refoulement au moyen de l'enlèvement actif de la pompe qu'on appelle roue à aubes. Aussi, au contact du liquide avec les aubes a lieu la transformation de l'énergie mécanique en énergie hydraulique et cette transformation consiste essentiellement en une augmentation de l'énergie cinétique. Les turbopompes sont classées suivant que la roue produit une augmentation du moment cinétique ou de la circulation du liquide, on peut les diviser en plusieurs types :

- Pompes à circulation de vitesse

La circulation du liquide autour de la roue ou de son aubage est proportionnelle au couple communiqué à la roue par l'arbre. Dans le cas d'un écoulement permanent, le champ du courant dépend de la forme des espaces entre les aubes consécutives et aussi de la forme intérieure du corps dans lequel est située la roue, il dépend entre autre de la vitesse de rotation de la roue. Suivant la forme du champ du courant ; on peut peu aussi diviser cette catégorie de pompes en plusieurs types : Pompes centrifuges; Pompes hélicoïdales; Pompes diagonales; Pompes à hélices. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés traitons aux pompes centrifuges

- Pompes centrifuges

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur (souvent nommée improprement turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement. Les pompes centrifuges permettent de faire circuler le fluide dans une installation.

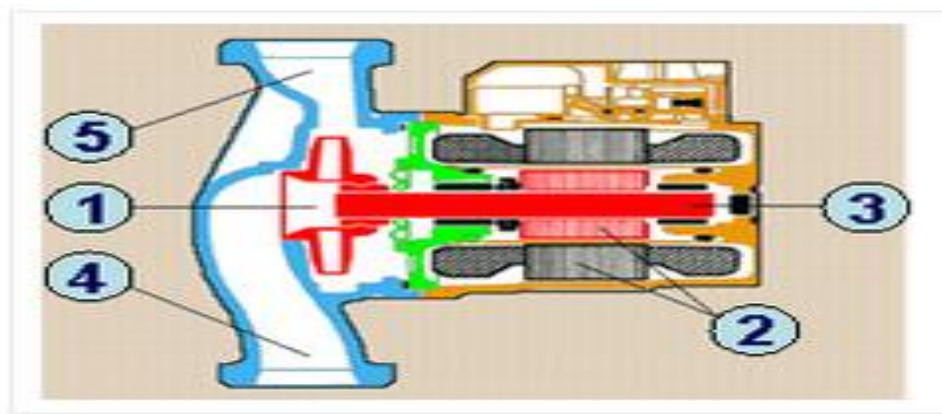


Figure .II.1. Différents composants d'une pompe centrifuge

A l'intérieur du corps d'une pompe centrifuge, une roue (n°1) est entraînée à grande vitesse par un moteur électrique (n°2). La roue est fixée sur l'arbre de transmission (n°3) du moteur et entraînée par celui-ci. Elle capte ainsi l'eau à l'aspiration (n°4) de la pompe et la projette avec force vers le refoulement (n°5).

- **Principe de fonctionnement**

Il est basé sur les « effets » produits par la pompe centrifuge sur la matière déplacée dans son mouvement de rotation. L'effet de la force centrifuge fait que le corps déplacé par le mouvement rotatif « s'échappe » vers l'extérieur. A une vitesse très grande.

Les différentes étapes de passage du liquide sont :

L'aspiration : Est l'action mécanique qui crée un vide partiel à l'entrée de la pompe, permettant à la pression atmosphérique, dans le réservoir, de forcer le liquide du réservoir vers la pompe à traverser la conduite d'aspiration ou d'alimentation. Certaines pompes n'arrivent pas à créer un vide suffisant pour s'alimenter. De ce fait, lors de l'utilisation des pompes, on veillera à ce qu'elles soient en charge ; C'est-à-dire que le réservoir soit situé au dessus de l'orifice d'alimentation de la pompe. Si ce montage ne peut être réalisé, on utilise une seconde pompe qui a pour rôle d'alimenter la première, ces pompes sont dites pompes de gavage.

Le refoulement : Le liquide pénétrant à l'intérieur de la pompe est transporté puis refoulé, soit par la réduction du volume de la chambre le contenant, soit par addition forcée de volumes dans une chambre à capacité constante ou par centrifugation. La pression relevée au refoulement d'une pompe n'est pas créée par la pompe. Cette pression s'établit en fonction de différentes résistances qui vont s'opposer au flux débité par la pompe. Elles ont pour origine le frottement du fluide sur les canalisations, raccords et organes du circuit et la charge extérieure (charge utile et frottement mécanique).

- **Nomenclature**

On appelle « corps de pompe » l'enveloppe extérieure de la machine. C'est la partie fixe de la machine ou stator. Le corps est constitué principalement de la « tubulure d'aspiration », de la « volute », et de la « tubulure de refoulement ». La partie mobile ou rotor est formée de l'impulseur (roue à aubes), monté sur un arbre. Le rotor est actionné par une machine d'entraînement qui est le plus souvent un moteur électrique ou thermique mais peut être également une turbine.

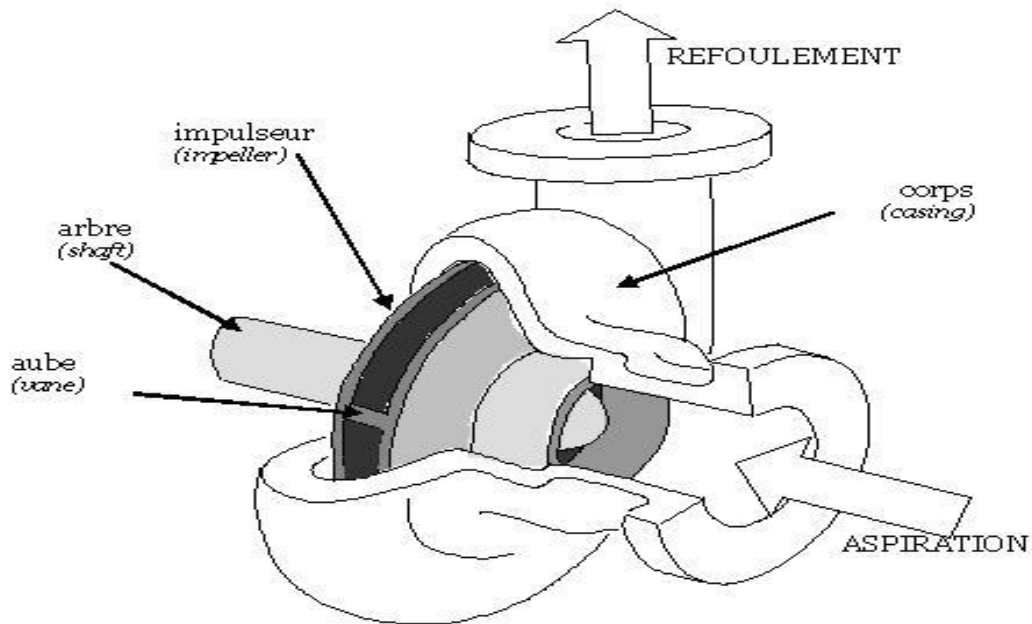


Figure .II.2. Vue perspective de la pompe centrifuge

Comme l'arbre traverse le plus souvent la volute, il est nécessaire de réaliser à cet endroit un dispositif assurant l'étanchéité globale. Ceci est effectué à l'aide de deux types principaux d'accessoires : le presse-étoupe et la garniture mécanique.

On appelle aubes les lamelles grossièrement radiales qui, à l'intérieur de l'impulseur, canalisent le fluide de l'intérieur vers l'extérieur de la volute.

On appelle « flasques » les parois de l'impulseur qui enserrant les aubes. (Les roues à deux flasques dites aussi impulseur fermé sont les plus fréquentes. Il existe également des roues sans flasque, et des roues à une seule flasque (impulseur ouvert ou semi-ouvert)).

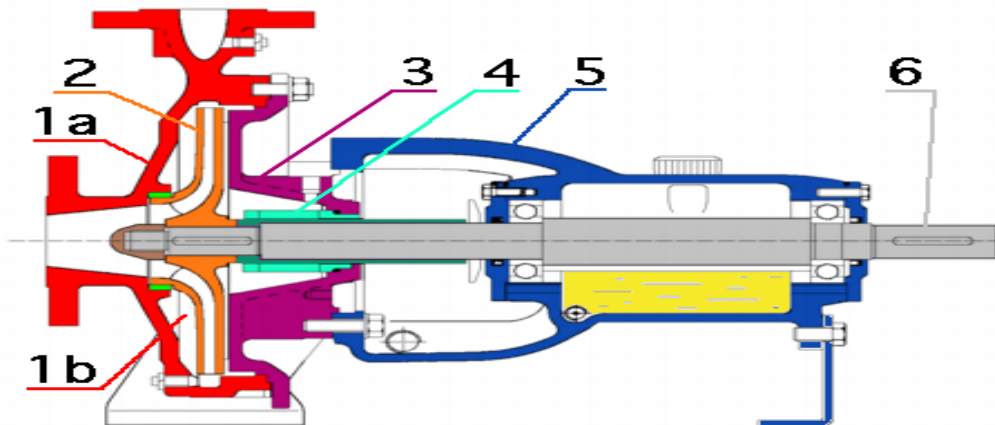


Figure .II.3. Vue de coupe d'une pompe centrifuge

1a, 3, 5	1b	2	4	6.
Corps de pompe	Diffuseur	Impulseur	Garniture mécanique	Arbre

Tableau .II.1. Organes de la pompe

• **But de l'accouplement**

Lorsque deux arbres sont placés dans le prolongement l'un de l'autre. Ils doivent être solidaires. On réalise leur accouplement en utilisant un organe d'accouplement

Les considérations qui président au choix d'un accouplement sont :

En plus des considérations relatives : à la fiabilité, à la sécurité et à la longévité il faut tenir compte des critères suivants: (Couple transmis, vitesse de rotation, prix du revient, distance entre bouts d'arbres, le diamètre des arbres...)

Accouplement

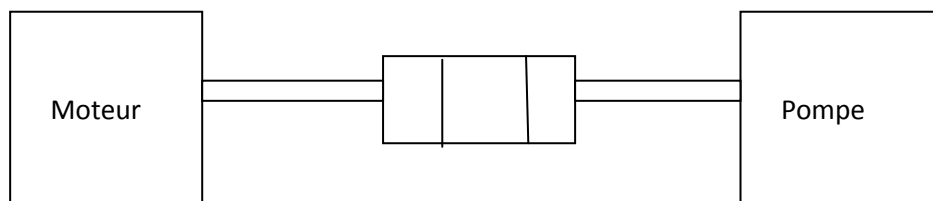


Schéma du fonctionnement d'une pompe

• **Caractéristiques de la pompe**

Une pompe centrifuge est une machine tournante destinée à communiquer au liquide pompé une énergie suffisante pour provoquer son déplacement dans un réseau hydraulique comportant en général une hauteur géométrique d'élevation de niveau (Z), une augmentation de pression (P) et toujours des pertes de charges (Hj)

Débit : Le débit Q fournit par une pompe centrifuge est le volume refoulé pendant l'unité de temps, il s'exprime en mètres cubes par heure (m³/h)

Vitesse : C'est le nombre de tours qu'effectue la pompe par unité de temps, cette vitesse est notée N. L'unité la plus utilisée est le tour par minute (tour/min)

La hauteur : La hauteur engendrée par une pompe centrifuge représente l'énergie par unité de poids communiqué au liquide pompé. elle s'exprime en mètre (m). la hauteur varie avec le débit, et elle est représentée par la courbe caractéristique H= f (Q) de la pompe considérée.

- **Rendement d'une pompe**

Le rendement η est le rapport de la puissance utile communiqué au liquide pompé à la puissance absorbée par la pompe.

Le rendement η de la pompe varie avec le débit et passe par un maximum pour le débit nominal autour duquel la pompe doit être utilisée. Cette variation est représentée par la courbe

$$\eta = f(Q).$$

Puissance absorbée par une pompe :

La puissance absorbée est le travail par unité de temps fourni à la pompe. Elle s'exprime en kilowatts (KW) et est donnée par la relation :

$$P \equiv \frac{Dgqh}{\mu}$$

Dans lequel d est la densité du liquide en (kg/m^3) et μ le rendement de la pompe. NPSH requise et capacité pratique d'aspiration :

Le NPSH requis d'une pompe représente l'énergie nécessaire à la bride d'aspiration pour assurer le débit à la hauteur normale. Il s'exprime en mètre, Le NPSH requis varie avec le débit et est représenté par la courbe $\text{NPSH}_r = f(Q)$ dans une installation, l'énergie disponible (NPSH disponible) comptée en valeur absolue au-dessus de la pression ou tension de vapeur du liquide pompé doit être supérieure à NPSH requis par la pompe pour le débit considéré afin d'éviter le phénomène de cavitation

- **Classification des pompes centrifuges**

La classification des pompes centrifuges est basée sur la forme de la trajectoire du liquide à l'intérieur du rotor, mais aussi la variété des types de pompes centrifuges qui existe dans l'industrie nous oblige à établir une classification dont les critères les plus utilisés souvent et qui sont :

- disposition de l'axe : axe horizontal, axe vertical, axe incliné.
- nombre d'étages : un seul étage (monocellulaire), plusieurs étages (multicellulaires)
- type de récupération : pompe avec diffuseur; pompe avec paillettes; pompe avec volute

Avantages et inconvénients des pompes centrifuges :

Les avantages : construction simple en général, une seule pièce en mouvement : le rotor; prix peu élevé; encombrement réduit; jeu assez large, donc facilité de manipuler des liquides contenant des solides en suspension; entretien en général peu coûteux; Peu d'influence de l'usure ou de la corrosion sur les caractéristiques ; faible NPSH requis en général; très large gamme de qualités matières suivant le service requis; grande flexibilité d'utilisation; ajustement automatique de débit à la pression; puissance absorbée limitée, donc sans danger

Inconvénients : limitation de la viscosité; en fait, la pompe centrifuge est limitée pratiquement à des viscosités de l'ordre de 100 est (centistokes) et son rendement chute rapidement au-delà de cette valeur ; débit légèrement instable, dans les basses valeurs : difficulté de contrôler le débit;

- **Domaine d'utilisation**

Le domaine d'utilisation des machines centrifuges est extrêmement vaste et couvre les extrêmes suivants : Débits : de 0,001 à 60 m³/s; Hauteurs de 1 à 5 000 m; Vitesses de rotation 200 à 30 000 tr/min. D'une manière générale, le nombre de tours spécifique peut servir qualitativement à distinguer des différents design de pompes, sachant que seul son fabricant, à la suite d'essais de type et même des essais effectués sur l'appareil particulier, est en mesure de confirmer les performances particulières de telle ou telle machine. Un nombre de tours spécifique élevé est caractéristique d'un fort débit sous faible hauteur, alors qu'un nombre spécifique faible définit un faible débit sous forte hauteur. Dans l'ordre des nombres caractéristiques croissants, on trouve successivement: Les machines multi étagées, sur lesquelles plusieurs impulseurs sont montés en série sur le même arbre.

Les machines radiales à impulseur fermé; Les machines radiales à impulseur semi-ouvert; Les machines mixtes (intermédiaires entre radiales et axiales); Les machines axiales

Le tableau ci-après fournit des indications chiffrées en ordres de grandeurs (nombre de Brauer avec h et Q respectivement en mètres - et kg/m³)







N_B (nombre de Brauer)	Type d'impulseur	Forme impulseur	hauteur maximum	rendement
7–30	pompe radiale		800 m (jusqu'à 1 200 m)	40–88 %
50	pompe radiale		400 m	70–92 %
100	Pompe radiale		60 m	60–88 %
35	Pompe mixte		100 m	70 - 90 %
160	Pompe mixte		20	75–90 %
160–400	Pompe axiale		2–15 m	70–88 %

Tableau .II.2 indications chiffrées en ordres de grandeurs (nombre de Brauer)

- **Eléments constitutifs de la pompe**

- 1) **Composants hydrauliques**

Ils comprennent, dans la configuration la plus répandue, les éléments suivants :

Le conduit d'amenée : Du fluide vers l'impulseur de la pompe, est dans le cas général ou d'aspiration est axiale, un simple cône ayant son axe confondu avec l'axe de la machine, le fluide ne subit dans ce conduit ni apport, ni prélèvement d'énergie.

La roue de la pompe : Appelée aussi dans ce qui suit impulseur est élément essentiel de la machine, la totalité de l'énergie est apportée au fluide par l'impulseur sous deux formes distinctes. D'une part, directement, sous la forme d'un accroissement de pression cinétique

D'autre part, sous la forme d'un accroissement d'énergie cinétique qui est elle-même transformée en pression dans les organes situés en aval de l'impulseur.

L'impulseur constitué d'aubes ou ailes, les aubes sont décalées angulairement de façon régulière, elles sont inclinées en arrière, l'induction en arrière est à considérer par rapport au sens de rotation de l'impulseur, cela veut dire que le bord de fuite ~B- des aubes est en retard dans la rotation par rapport au bord d'attaque A. Les impulseur des pompes centrifuges comportent presque toujours un flasque avant et un flasque arrière en d'autres termes les aubes se rattachent à chaque extrémité à une couronne donnant à l'ensemble une structure de

grande rigidité, qui convient parfaitement à une réalisation par fonderie, les aubes de l'impulseur peuvent être droites, toujours parallèle à l'axe : elles sont gauches dans le cas contraire.

- **Le rôle de la volute** : Est de recueillir le fluide sortant à grande vitesse de l'impulseur, de le canaliser, puis de le ralentir, transformant aussi en pression une part importante de son énergie cinétique, elle comporte deux parties : une première partie en forme d'escargot, dont les sections grandissant avec l'augmentation du débit et une seconde partie divergente, qui véhicule la totalité du débit, et qui poursuit et achève le ralentissement du fluide.

- **Les dispositifs d'étanchéité interne** : Sont destinés à limiter le retour vers l'aspiration des débits de fuite prélevés sur le débit principal ayant traversé l'impulseur : ils sont constitués très simplement d'une section annulaire étranglée, aussi petite que possible, mais le jeu radial doit rester compatible avec un bon fonctionnement mécanique de la pompe, les dispositifs d'étanchéité peuvent comporter deux niveaux, situés aux diamètres légèrement différents, ce qui permet de réduire les débits de fuites internes.

- **Diffuseur** : Le diffuseur est un organe fixe concentrique à l'axe de la pompe, son rôle de transformer l'énergie cinétique contenue dans le liquide au moment de sa sortie de la roue, en énergie de pression. Il est constitué d'ailettes appelées directrices. Ces ailettes formant entre elles des canaux divergents a section entre deux directrices voisines va en croissant depuis leur entrée jusqu'à leur sortie, pour un même débit, la vitesse du liquide diminue au cours de son passage dans le diffuseur. A la diminution de l'énergie cinétique du liquide correspond donc une augmentation de son énergie potentielle qui se traduit par une augmentation de sa pression.

b) Tubulure d'inspiration ; Canal de section croissante disposé à la sortie de la roue.

d) Tubulure de refoulement;

2) Composants mécaniques :

Ils comprennent les éléments suivants :

Arbre de commande : L'arbre est l'unité qui provoque le mouvement de rotation. Il est souvent fait en acier spécial, car il doit résister à l'usure que certaines autres pièces exercent sur lui (Joint, palier, etc.,...) C'est pour cette raison qu'il est souvent protégé par une chemise en acier spécial, placé aux points d'usure maximale : cette chemise est placée en contact avec la garniture mécanique.

La pivoteriez : A un rôle double, d'une part, assurer le centrage de l'arbre (fonction partie radiale) et d'autre part, équilibre les efforts axiaux qui s'exercent sur l'équipage mobile (fonction butée).

- **Les paliers à roulement**

Sont de loin les paliers les plus utilisés pour les pompes centrifuges monocellulaires, dans ce cas, le palier de butée est généralement constitué de deux rouelle à contacts obliques montés dos à dos, et est situé du côté de l'accouplement, le palier radial qui doit être glissant est souvent constitué d'un roulement à rouleaux. Le graissage est réalisé à la graisse ou à l'huile, les grosses pompes peuvent être équipées de paliers radiaux et d'une butée axiale lubrifiée à l'huile.

- **Un système d'étanchéité**

Il est placé vers l'extérieur et a pour rôle d'empêcher une fuite externe ou tout au moins, d'en limiter l'importance, ce système est classé parmi les composants mécaniques, car il comporte des éléments de contact et de friction entre parties tournantes et parties fixes. L'étanchéité externe peut être assurée par un système détresses avec presse-étoupe, assurant un serrage glissant sur l'arbre ou plus fréquemment, sur une chemise rapportée sur l'arbre que l'on peut remplacer en cas d'usure. L'étanchéité externe peut être assurée par garniture mécanique.

- **Corps de pompe :**

Le corps de pompe est en fonte ou en (CR-CU), il sert : a guider le liquide jusqu'à la turbine et a évacuer le liquide. Dans le corps de la pompe, l'énergie cinétique du liquide sortante est transformée en énergie potentielle par l'augmentation de la pression du liquide, cette transformation s'effectue par le passage du liquide dans le diffuseur.

- **La sélection de la bonne pompe**

La bonne pompe commence par la connaissance de : La hauteur ou la pression totales de fonctionnement; Le débit souhaité; La capacité d'aspiration; Les caractéristiques du fluide (température, corrosivité, etc....).

	Pompes centrifuges	Pompes volumétriques
Mécanique	Met le liquide en mouvement, ce qui crée une pression à la sortie (une pression apparaît, entraînant un débit).	Isole une certaine quantité de liquide et la transfère de l'orifice d'aspiration à celui de refoulement (un débit est créé, entraînant une pression).
Performance	Le débit dépend de la pression variable.	Le débit est constant quelle que soit la pression.
Viscosité	Le rendement diminue avec l'augmentation de la viscosité du fait des pertes par frottement dans la pompe (généralement pas utilisées pour des viscosités supérieures à 850 cSt).	Le rendement augmente avec la viscosité.
Rendement	Rendement optimal en un point. À des pressions différentes, le rendement diminue.	Le rendement augmente avec la pression.
Conditions d'entrée	Le liquide doit être dans la pompe pour créer un différentiel de pression. Auto-amorçage d'une pompe à sec impossible.	Une pression négative est créée à l'orifice d'entrée. Auto-amorçage d'une pompe à sec possible.

Tableau .II.3. Comparaison de base pompes centrifuges et pompes volumétriques

CHAPITRE III
GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

Partie I

GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

III.1. Introduction

Selon la définition de l'AFNOR, la maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé. La maintenance regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc.) ou même immatériels (logiciels). Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, ... etc.

III.2. Définition nominative

La fédération européenne des sociétés nationales de maintenance (European Federation of National Maintenance Societies ou EFNMS) propose une définition similaire en anglais: « All actions which have the objective of retaining or restoring an item in or to a state in which it can perform its required function. The actions include the combination of all technical and corresponding administrative, managerial and supervision actions »

Littéralement : Toutes les actions qui ont pour objectif de garder ou de remettre une chose en état de remplir la fonction qu'on exige d'elle. Ces actions regroupent toutes les actions techniques et toutes les actions d'administration, de direction et de supervision correspondantes

III.3. Typologie de la maintenance des machines

Il existe deux façons complémentaires d'organiser les actions de maintenance :

III.3.1. Maintenance corrective

Consiste à intervenir sur un équipement une fois que celui-ci est défaillant. Elle se subdivise en :

➤ *Maintenance palliative*

Dépannage (donc provisoire) de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou partie d'une fonction requise ; elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais.

➤ *Maintenance curative*

Réparation (donc durable) consistant à une remise en état initial.

➤ *Maintenance préventive*

Consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. On interviendra de manière préventive soit pour des raisons

de sûreté de fonctionnement (les conséquences d'une défaillance sont inacceptables), soit pour des raisons économiques (cela revient moins cher) ou parfois pratiques (l'équipement n'est disponible pour la maintenance qu'à certains moments précis). La maintenance préventive se subdivise à son tour en :

III.3.2. Maintenance systématique

Désigne des opérations effectuées systématiquement :

Soit selon un calendrier (à périodicité temporelle fixe).

Soit selon une périodicité d'usage (heures de fonctionnement, nombre d'unités produites, nombre de mouvements effectués, etc.).

➤ *Maintenance conditionnelle*

Réalisée à la suite de relevés, de mesures, de contrôles révélateurs de l'état de dégradation de l'équipement ;

➤ *Maintenance prévisionnelle*

Réalisée à la suite d'une analyse de l'évolution de l'état de dégradation de l'équipement.

Diverses méthodes permettent d'améliorer la planification et l'ordonnancement des actions de maintenance :

- Réseau PERT
- Diagramme de Gantt
- Analyse AMDEC

Par ailleurs, il existe des méthodes (par exemple, la méthode Maxer) et des logiciels de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO), spécialement conçus pour assister les services de maintenance dans leurs activités.

III.4. Rôle de la maintenance

La maintenance assure la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise en maintenant le potentiel d'activité et en tenant compte de la politique définie par l'entreprise, la fonction maintenance sera donc amenée à considérer alors les :

- Prévisions à long terme.
- Prévisions au moyen terme.
- Prévisions à court terme.

Sachant que les réductions de coût et d'immobilisations ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions d'exécution des interventions. Le service

technique lie cette fonction aux informations qualitatives et quantitatives susceptibles d'influencer les politiques particulières de l'entreprise.

III.5. Fiabilité

La fiabilité est une caractéristique d'un dispositif exprimé par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction dans des conditions d'utilisation, et pour une période de temps déterminée. La complexité croissante du matériel et la miniaturisation rendent difficile les actions de maintenance corrective, toute comme : la mise en jeu d'investissement et de risque de plus en plus élevé, les coûts de perte de production élevée.

III.5.1. Défaillances et entretien des pompes

III.5.1.1. Entretien Des Pompes

Les tâches regroupées d'entretien, de réparation et de dépannage représentent approximativement 80 % du temps que consacre en moyenne un agent de maintenance de machines industrielles lors de la réalisation de son travail. Les défaillances sont la raison d'être de l'entretien : Afin de diminuer les risques qu'une pompe ou qu'un moteur hydraulique ne subisse une défaillance, on doit effectuer un entretien régulier de ces équipements.

- **Défaillances**

Il arrive très rarement qu'une pompe ou qu'un moteur hydraulique subisse une défaillance partielle ou totale à cause d'un défaut de fabrication. En effet, lorsqu'un de ces équipements fonctionne mal, cela résulte habituellement de la présence d'un problème ailleurs dans le système.

- **Causes de défaillances**

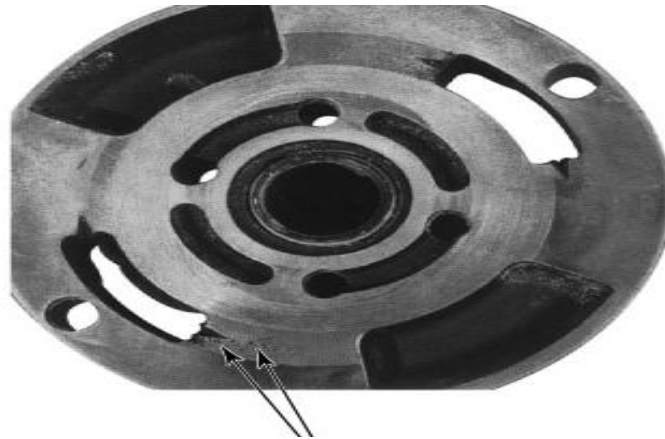
Dans la réalité, la plupart des défaillances subies par ces équipements peuvent être attribuées à une ou à plusieurs des causes suivantes : Aération ; Cavitation ; Contamination ; Surpression ; Température Excessive ; Viscosité Inadéquate.

- **Aération**

La présence de bulles d'air dans un fluide hydraulique s'appelle aération: Elle donne au fluide hydraulique une apparence laiteuse ; elle entraîne un fonctionnement bruyant de la pompe et un fonctionnement saccadé des composants hydrauliques à cause de la compressibilité de l'air. L'aération d'un fluide hydraulique est généralement due à l'état défectueux d'un joint d'étanchéité au niveau de l'arbre ou du carter de la pompe hydraulique. Elle est néfaste pour une pompe hydraulique puisque les bulles d'air aspirées par la pompe subissent une implosion (irruption brutale d'un fluide à l'intérieur d'une enceinte de pression

plus faible) lorsqu'elles sont soumises à la pression du système existant du côté du refoulement de la pompe. L'implosion des bulles d'air peut provoquer l'arrachement de particules métalliques sur les pièces de la pompe hydraulique se trouvant à proximité du point d'implosion.

Ces implosions entraînent une température locale très élevée. Les particules arrachées deviennent une source de contamination et provoquent l'usure des autres pièces de la pompe ou d'autres composants du circuit. La figure suivante vous montre une plaque de poussée d'une pompe hydraulique volumétrique ayant subi une usure due à l'aération du fluide.



Arrachement de particules métalliques du
à l'implosion des bulles d'air

**Figure III.1. Plaque de poussée ayant subi une usure due à
l'aération du fluide**

- ***Cavitation***

La cavitation d'une pompe hydraulique se produit lorsque le fluide n'occupe pas entièrement l'espace disponible à l'intérieur de la pompe. Le bruit généré par la cavitation d'une pompe est semblable à celui produit par l'aération du fluide. La cavitation d'une pompe hydraulique est généralement due à :

- Vitesse de rotation trop élevée.
- Restriction dans le conduit d'admission de la pompe.
- Conduit d'admission trop long.
- Fluide ayant une viscosité trop élevée.

- **Contamination**

Tout corps étranger se trouvant dans un fluide hydraulique est défini comme étant de la contamination et a un effet important sur les performances des pompes et des moteurs hydrauliques. Les contaminants peuvent être de :

- Nature liquide.
- Solide.
- Gazeuse.

La plupart des contaminants ont un effet abrasif sur les pièces mobiles internes des pompes et des moteurs hydrauliques, ce qui occasionne une usure prématurée de ces pièces.

La figure suivante montre un couvercle de pompe volumétrique à pistons axiaux ayant subi des dommages dus à la présence de contaminants solides.

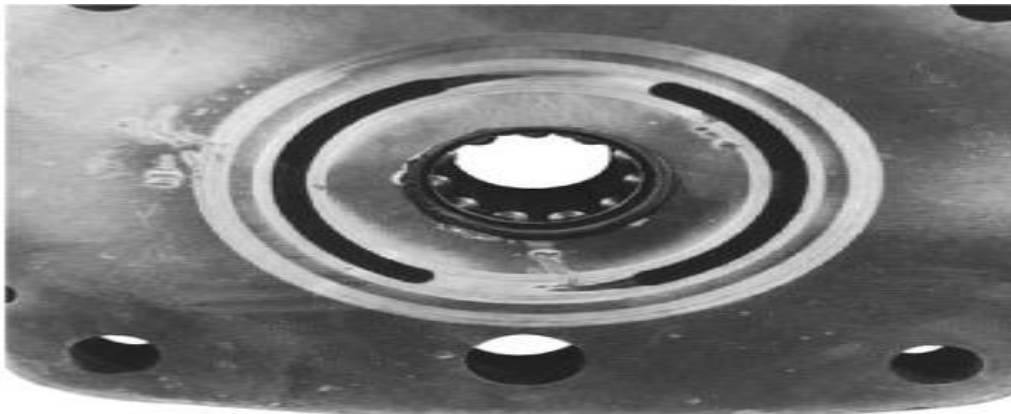


Figure III.2. Dommages causés par la présence de contaminants solides

- **Surpression**

L'utilisation des pompes et des moteurs hydrauliques dans des conditions de pression dépassant celles prescrites par le fabricant entraîne : des forces extrêmes sur les pièces mobiles internes de ces équipements. Ces forces peuvent ainsi entraîner des défaillances prématurées sur les pompes et les moteurs hydrauliques.

- **Température excessive**

Une température de fonctionnement supérieure à celle prescrite par le fabricant affecte la viscosité du fluide hydraulique. L'aération, la cavitation, la contamination et une surpression sont tous des facteurs qui contribuent à une augmentation de la température. Une température excessive accélère l'oxydation de l'huile hydraulique, ce qui affecte la viscosité

de cette dernière. La figure suivante vous montre la couronne d'une pompe volumétrique à palettes ayant subi une température excessive.

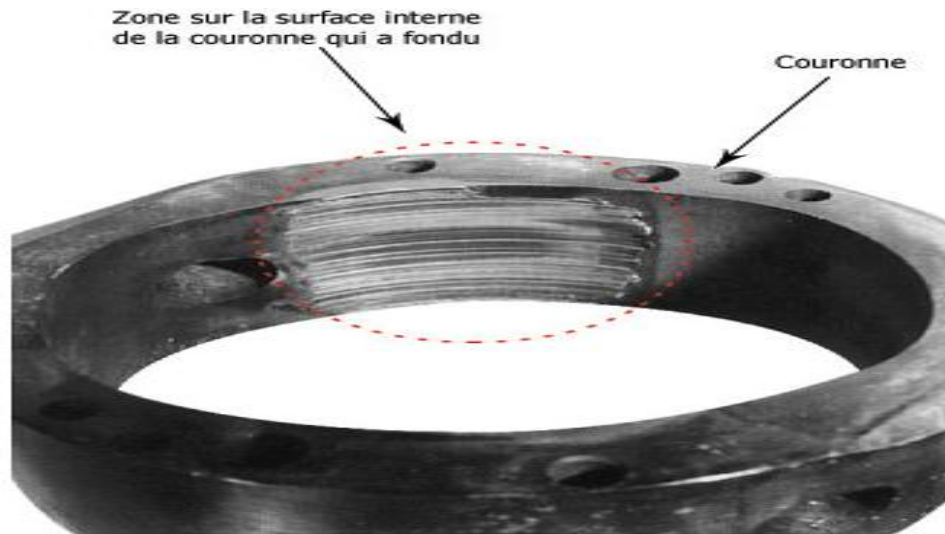


Figure III. 3. Défaillance causée par une température excessive

Dans ce cas particulier, nous remarquerons :

- que la couronne est noircie,
- la température fut telle que les chanfreins de certaines palettes et la surface interne de la couronne ont fondu.

- ***Viscosité inadéquate***

La viscosité d'un fluide est définie comme étant la résistance de ce fluide à l'écoulement. Plus la viscosité d'un fluide est élevée, plus ce dernier s'écoule lentement. Par exemple, l'huile hydraulique a une viscosité plus élevée que l'eau. L'utilisation d'un fluide ayant une viscosité supérieure à celle recommandée par le fabricant peut entraîner la cavitation d'une pompe hydraulique. Une viscosité trop élevée peut survenir dans des conditions d'utilisation à basse température puisque la viscosité d'un fluide augmente en fonction de la diminution de la température. L'utilisation d'un fluide ayant une viscosité inférieure à celle prescrite par le fabricant peut entraîner : Des fuites internes ou externes.

- Une augmentation de l'usure des pièces mobiles internes.
- Une augmentation de la température de fonctionnement.

Partie II
DIAGNOSTIC DES PANNES DES
POMPES

III.1. Diagnostic de panne des pompes hydrauliques volumétrique

Les principaux types de mauvais fonctionnement des pompes hydrauliques sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

A chacun de ces dysfonctionnements sont associées des causes possibles ainsi que des suggestions de mesures à prendre pour remédier à la situation.

CAUSES POSSIBLES	MESURES A PRENDRE
• <u>INCAPACITE DE LA POMPE A REFOULER L'HUILE</u>	
Bas niveau d'huile dans le réservoir.	<ul style="list-style-type: none"> • Ajouter de l'huile ayant la viscosité et les propriétés recommandées par le fabricant. • Vérifier la présence de fuites aux niveaux du réservoir, des raccords, de la tuyauterie, de la pompe et d'autres composants du circuit. • Réparer au besoin.
Tuyauterie d'admission d'huile ou filtre d'aspiration bouché.	Enlever l'obstruction ou nettoyer le filtre d'aspiration.
Mauvaise étanchéité au niveau du conduit d'aspiration empêchant l'amorçage de la pompe.	Repérer et réparer la fuite.
Vitesse trop lente empêchant l'amorçage de la pompe.	Vérifier la vitesse minimale recommandée dans le manuel du fabricant.
Viscosité de l'huile trop élevée (surtout par temps	Employer une huile de plus faible viscosité (suivre les recommandations du

froid) empêchant l'amorçage de la pompe.	fabricant au regard du type d'huile à utiliser).
Mauvais sens de rotation de la pompe.	Changer immédiatement le sens de rotation afin de prévenir un blocage ou un bris des pièces mobiles internes en raison d'un manque de lubrification.
Arbre de la pompe brisé ou pièces internes.	Remplacer les pièces brisées conformément aux instructions du fabricant.
Présence de saletés dans la pompe.	Démonter et nettoyer la pompe.
Sur les pompes à cylindrée variable, ajustement du compensateur inadéquat.	Vérifier et ajuster conformément aux instructions du fabricant.
• <u>INCAPACITE DE LA POMPE A BATIR UNE PRESSION</u>	
Incapacité de la pompe à refouler l'huile.	
Dysfonctionnement de la soupape de sureté <ul style="list-style-type: none"> • Soupape non étanche. • Ressort cassé. 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter le réglage de la soupape en prenant bien soin de ne pas dépasser la pression nominale de la pompe. • Vérifier, puis réparer ou remplacer la soupape. • Vérifier et changer le ressort.
Mauvaise étanchéité interne de la pompe.	Démonter et vérifier la pompe conformément aux instructions du fabricant.
Sur les pompes à cylindrée variable, dysfonctionnement du compensateur de pression.	Réparer ou remplacer conformément aux instructions du fabricant.
• <u>POMPE BRUYANTE</u>	
Canalisation d'admission partiellement bouchée, filtre d'admission obstrué.	Nettoyer la canalisation ou le filtre d'admission.
Mauvaise étanchéité aux niveaux :	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier en versant de l'huile sur les joints tout en écoutant s'il se produit un

<ul style="list-style-type: none"> • Des joints de la tuyauterie ou de la pompe. • De la garniture de l'arbre de la pompe. 	<p>changement de bruit lors de l'opération.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resserrer ou réparer conformément aux instructions du fabricant. • Verser de l'huile autour de l'arbre tout en écoutant s'il se produit un changement de bruit lors de l'opération. • Changer la garniture conformément aux instructions du fabricant.
Air aspiré par le positionnement des canalisations d'aspiration et de retour au dessus du niveau d'huile dans le réservoir	Vérifier et réparer les canalisations.
Bas niveau d'huile dans le réservoir.	Ajouter de l'huile ayant la viscosité et les propriétés prescrites par le fabricant (dépasser le niveau maximal d'huile peut occasionner des bris).
Reniflard (orifice par lequel l'air pénètre dans le réservoir) bouché.	Nettoyer ou remplacer le reniflard du réservoir (l'air doit être insufflé dans le réservoir).
Vitesse de rotation trop élevée.	Vérifier la vitesse nominale recommandée par le fabricant.
Viscosité de l'huile trop élevée (surtout par temps froid).	Employer une huile de plus faible viscosité (suivre les recommandations du fabricant au regard du type d'huile à utiliser).
Filtre d'admission trop petit.	Poser un filtre d'une plus grande capacité, car un filtre trop petit n'est adéquat que lorsqu'il vient d'être nettoyé.
Mauvais alignement.	Vérifier et réaligner.
Pièces internes usée ou brisées.	Démonter, vérifier et réparer conformément aux instructions du fabricant.
Saletés dans la pompe.	Démonter et nettoyer la pompe.
Contamination du fluide par des saletés ou de l'eau.	<ul style="list-style-type: none"> • Installer un filtre approprié ou remplacer l'huile plus souvent.

	<ul style="list-style-type: none"> Déterminer la source de contamination.
<ul style="list-style-type: none"> <u>FUITES D'HUILE A L'EXTERIEUR DE LA POMPE</u> 	
Joint d'étanchéité de l'arbre usés.	Remplacer conformément aux instructions du fabricant.
Joint d'étanchéité usé	Remplacer conformément aux instructions du fabricant.
<ul style="list-style-type: none"> <u>USURE EXCESSIVE</u> 	
Contamination.	Installer un filtre approprié ou remplacer l'huile plus souvent.
Viscosité de l'huile trop basse pour les conditions de fonctionnement.	Employer une huile adaptée aux conditions de fonctionnement (suivre les recommandations du fabricant au regard du type d'huile à utiliser).
Surpression.	Vérifier et ajuster la soupape de sûreté.
Mauvais alignement.	Vérifier et réaligner.
Aération du fluide.	Enlever l'air du circuit et corriger la situation.
Cavitation	Vérifier la canalisation ou le filtre d'admission.
<ul style="list-style-type: none"> <u>BRIS DE PIECES A L'INTERIEUR DU CARTER DE LA POMPE</u> 	
Surpression.	Vérifier et ajuster la soupape de sûreté.
Blocage causé par un manque d'huile.	Vérifier le niveau du réservoir, le filtre à huile et les endroits les plus propices aux obstructions dans la canalisation de l'aspiration.
Matière causé par un manque d'huile.	Vérifier le niveau du réservoir, le filtre à huile et les endroits les plus propices aux obstructions dans la canalisation de l'aspiration.
Matière solides coincées dans la pompe.	<ul style="list-style-type: none"> Démonter et nettoyer la pompe.

	<ul style="list-style-type: none"> • Changer le filtre d'aspiration. • Changer l'huile si nécessaire.
Mauvais alignement.	Vérifier et réaligner.
Viscosité de l'huile trop élevée (surtout par temps froid)	Employer une huile de plus faible viscosité conformément aux instructions du fabricant.

III.2. Diagnostic de panne des pompes hydrauliques non volumétrique

Les principaux types de mauvais fonctionnement des pompes hydrauliques non volumétriques sont détaillés ci-dessous

A chacun de ces dysfonctionnements sont associées des causes possibles ainsi que des suggestions de mesures à prendre pour remédier à la situation.

Causes possibles	Mesures à prendre
• <u>INCAPACITE DE LA POMPE A REFOULER LE FLUIDE</u>	
Pompe non amorcée.	<ul style="list-style-type: none"> • Réamorcer la pompe. • S'assurer que la pompe et le circuit d'aspiration sont pleins de fluide (gavage).
Circuit d'aspiration colmaté.	Retirer les obstructions.
Roue colmatée par des corps étrangers.	Rincer la roue en rinçant la pompe à contre-courant.
Mauvais sens de rotation.	Changer le sens de rotation pour qu'il soit conforme au sens indiqué par la flèche figurant sur le chapeau des paliers ou sur le corps de la pompe.
Embouche du tuyau d'aspiration	<ul style="list-style-type: none"> • Consulter le manuel du fabricant pour connaître la insuffisamment

	<p>immergée hauteur appropriée.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un déflecteur pour éliminer les turbulences.
Hauteur d'aspiration trop élevée.	Raccourcir le tuyau d'aspiration.
<ul style="list-style-type: none"> • <u>INCAPACITE DE LA POMPE A FOURNIR LE DEBIT PREVU</u> 	
Fuite d'air par un joint.	Remplacer le joint conformément aux instructions du fabricant.
Fuite d'air par le presse-étoupe.	Remplacer ou réajuster les garnitures ou le joint mécanique conformément aux instructions du fabricant.
Roue partiellement colmatée.	Rincer la roue en rinçant la pompe à contre-courant.
Plaque latérale d'aspiration usée ou bagues d'usure usées.	Remplacer la pièce défectueuse, si nécessaire.
Hauteur d'aspiration insuffisante.	S'assurer que la vanne d'arrêt sur la conduite d'aspiration est complètement ouverte et que le circuit n'est pas obstrué.
Roue usée ou cassée.	Vérifier et remplacer, si nécessaire.
<ul style="list-style-type: none"> • <u>DEMARRAGE DE LA POMPE, PRODUCTION D'UN DEBIT PUIS INTERRUPTION DU DEBIT</u> 	
Amorçage de la pompe incorrect.	Réamorcer la pompe conformément aux instructions du fabricant.
Poches d'air dans le circuit d'aspiration.	Redisposer la tuyauterie pour éliminer les poches d'air conformément aux instructions du fabricant.
Fuite d'air dans le circuit d'aspiration.	Réparer la fuite ou la colmater.
<ul style="list-style-type: none"> • <u>TEMPERATURE EXCESSIVE DES PALIERS (ROULEMENTS)</u> 	
Alignement incorrect.	Vérifier, puis réaligner la pompe et le système d'entraînement conformément aux

	instructions du fabricant.
Lubrification incorrecte.	Vérifier si le lubrifiant est approprié ainsi que son niveau ou sa quantité.
Refroidissement du lubrifiant.	Vérifier le système de refroidissement du lubrifiant.
• <u>POMPE BRUYANTE OU VIBRATIONS INHABITUELLES</u>	
Alignement incorrect de la pompe avec le moteur.	Aligner les arbres.
Roue partiellement engorgée provoquant un déséquilibre.	Rincer la roue en rinçant la pompe à contre-courant.
Roue cassée ou rigidité de la fondation.	Remplacer si nécessaire.
Manque de rigidité de la fondation.	Serrer les boulons de fixation de la pompe ou du moteur, ou ajuster les assises conformément aux instructions du fabricant
Paliers usés.	Remplacer les paliers conformément aux instructions du fabricant.
Tuyaux d'aspiration ou de refoulement non fixés ou insuffisamment maintenus.	Fixer les tuyaux conformément aux instructions du fabricant.
Cavitation de la pompe.	Vérifier la vitesse de rotation, la présence de restriction dans le conduit d'aspiration, la longueur du conduit d'aspiration, la viscosité du fluide.
• <u>FUITES EXCESSIVES PAR LE PRESSE-ETOUPE</u>	
Serre garnitures incorrectement ajusté.	Serrer les écrous du serre garnitures conformément aux instructions du fabricant.
Presse-étoupe incorrectement garni.	Vérifier les garnitures, puis les reposer correctement.
Pièces du joint mécanique usées.	Remplacer les pièces usées conformément aux instructions du fabricant.
Surchauffe du joint mécanique.	Vérifier les circuits de lubrification et de refroidissement.

• <u>CONSOMMATION EXCESSIVE D'ENERGIE DE LA SOURCE MOTRICE</u>	
Fluide trop visqueux ou trop lourd.	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la viscosité et la densité du fluide. • Repenser la conception du circuit, si nécessaire.
Garnitures trop serrées.	<ul style="list-style-type: none"> • Réajuster les garnitures. • Remplacer les garnitures usées.
Grippage des pièces tournantes.	Vérifier les pièces d'usure internes pour s'assurer que les jeux sont corrects.

III.3. Diagnostic de panne des moteurs hydrauliques

Les principaux types de mauvais fonctionnement des moteurs hydrauliques sont détaillés ci-dessous.

A chacun de ces dysfonctionnements sont associées des causes possibles ainsi que des suggestions de mesures à prendre pour remédier à la situation.

CAUSES POSSIBLES	MESURES À PRENDRE
• <u>FUITES EXTERNES</u>	
Joints défectueux.	Remplacer le joint conformément aux instructions du fabricant.
Défectuosité du joint de l'arbre.	Remplacer le joint conformément aux instructions du fabricant.
Carter fêlé ou défectueux.	Remplacer le carter.
Mauvais serrage des raccords hydrauliques.	Vérifier et resserrer.
• <u>BRUIT EXCESSIF</u>	

Pièces internes usées ou endommagés.	Démonter, vérifier et remplacer les pièces défectueuses.
Présence d'air dans le circuit.	Purger les conduits et déterminer la source d'aération du fluide.
Viscosité de l'huile trop élevée (surtout par temps froid).	Employer une huile de plus faible viscosité (suivre les recommandations du fabricant au regard du type d'huile à utiliser.
<ul style="list-style-type: none"> • <u>JEU D'ARBRE</u> 	
Roulements usés.	Remplacer conformément aux instructions du fabricant.
Charge latérale ou axiale excessive.	Repenser la conception, car il s'agit d'un problème de conception.
<ul style="list-style-type: none"> • <u>ABSENCE DE ROTATION DU MOTEUR</u> 	
Grippage de l'arbre causé par un : <ul style="list-style-type: none"> • Excès de charge. • Manque de lubrification. • Mauvais alignement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la capacité de charge du moteur. • Vérifier le niveau du fluide et sa qualité. • Vérifier et corriger.
Pas de pression.	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier si les conduites ne sont pas bloquées, rompues ou si elles fuient. • Les remettre en bon état.
Arbre cassé.	Remplacer l'arbre et déterminer la cause de la rupture.
Fluide contaminé.	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier et nettoyer tout le système. • Trouver la cause de la contamination du fluide. • Utiliser un fluide propre en quantité et en qualité conformément aux instructions du fabricant.
<ul style="list-style-type: none"> • <u>VITESSE DE ROTATION TROP LENTE DU MOTEUR</u> 	

Mauvaise viscosité du fluide.	Remplacer le fluide.
Pompes usées ou moteur usé.	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la pompe ou le moteur. • Réparer ou changer si nécessaire.
Température élevée du fluide.	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une huile d'une viscosité adéquate. • Vérifier le niveau d'huile, puis corriger au besoin.
Filtre bouché.	<ul style="list-style-type: none"> • Rechercher la cause. • Nettoyer ou changer le filtre.
Mauvais débit du fluide.	<ul style="list-style-type: none"> • Rechercher les fuites de fluide. • Vérifier les différents ajustements de la pompe.
<p>• <u>FONCTIONNEMENT IRREGULIER DU MOTEUR</u></p>	
Pression trop basse.	<ul style="list-style-type: none"> • Rechercher les fuites. • Vérifier l'ajustement de la soupape de sûreté.
Mauvais débit du fluide.	<ul style="list-style-type: none"> • Rechercher les fuites. • Vérifier les différents ajustements de la pompe.
Commandes du système défectueuses.	Vérifier l'état de la pompe et des composants de commande.
<p>• <u>SENS DE ROTATION INVERSE DU MOTEUR</u></p>	
Mauvais branchement entre la pompe et le moteur.	Vérifier, puis branché correctement.
Charges excessives	Vérifier la capacité de charge du moteur.
Moteur usé.	<ul style="list-style-type: none"> • Démontez, vérifiez et remplacez les pièces usées. • Remplacer tout le moteur, si nécessaire.

III.4. Historique des pannes

DATE ET HEURE D'ARRET	DATE ET HEURE REDEMARRAGE	ORGANE DEFAILLANCE	DUREE D'ARRET (H)	TBF (H)
10/01/05 12h30	10/01/05 18h30	Changement de roulement à billes	6h	450h
16/02/05 12h00	16/02/05 18h30	Changement de garniture	6h30	881h30
05/03/05 10h00	05/03/05 15h00	Changement de clavette et joints	5h	399h30
28/03/05 23h00	29/03/05 02h00	Elimination de vibration	3h	560h
16/04/05 04h00	16/04/05 08h00	Usinage de 02 bagues	4h	434h
23/05/05 18h00	23/05/05 23h00	Changement de garniture	5h	898h
29/06/05 10h00	29 /06/05 15h00	Changement de joints	5h	85h
14/07/05 04h00	14/07/05 08h00	Mauvais alignement pompe et moteur	4h	439h30
13/08/05 03h00	13/08/05 9h30	Changement de garniture	6h30	715h
03/09/05 07h00	03/09/05 12h00	Changement des doigts d'accouplement	5h	477h30
14/09/05 12h30	14/09/05 17h30	Changement d'une bague	5h	264h30
03/09/05 13h00	03/09/05 19h00	Changement de roulement à rouleaux	6h	452h
13/10/05 12h00	13/01/05 19h00	Changement de garniture	7h	237h30

01/11/05 05h00	01/11/05 10h00	Changement de bague	5h	438h30
17/11/05 06h30	17/11/05 15h30	Révision générale de la pompe Changement de l'arbre	9h	380h30
19/12/05 20h00	20/12/05 00h00	Changement des joints	4h	772h30

III.5. Application de la loi Weibull

Rang	TBF en heure	TBF en ordre croissant	Echelle weibull 100h=10	Σni	$F(t_i) = \Sigma ni - 0. \frac{3}{n + 0.4}$
01	450	237.5	23.75	01	4.2
02	881.5	264.5	26.45	02	10.3
03	399.5	349.5	34.95	03	16.4
04	560	380.5	38.05	04	22.5
05	434	399.5	39.95	05	28.5
06	898	434	43.4	06	34.7
07	851	438.5	43.85	07	40.8
08	394.5	450	45	08	46.9
09	715	452	45.2	09	53
10	477.5	477.5	47.75	10	59.1
11	264.5	560	56	11	65.2

12	452	715	71.5	12	71.3
13	237.5	772.5	77.25	13	77.4
14	438.5	851	85.1	14	83.5
15	380.5	881.5	88.15	15	89.6
16	772.5	898	89.8	16	95.7

Détermination des paramètres :

En traçant la courbe $F(ti) = ti$ on trouve une droite ce qui veut dire que $\lambda=0$, donc on obtient les valeurs suivantes :

- La droite coupe l'axe (ti, η) à la valeur $\eta= 48 \times 10$
- La parallèle coupe l'axe « β » à la valeur $\beta=5,2$
- Les paramètres trouvés sur le papier de Weibull sont :
- $\gamma=0$.
- $\eta=480$ heures.
- $\beta =5.2$.

Exploitation des paramètres :

D'après la table de Weibull (page suivante) on trouve A et B :

- calcul de la moyenne :

$$MOY = A * \eta + \gamma$$

De la table de Weibull on a pour $\beta =5.2$:

- $A=0.9213$ et $B=0.203$
- $MTBF = A * \eta + \gamma$
- $MTBF=0.9213 \times 480 + 0$
- $MTBF=442.22$
- L'écart type : $\delta = B * \eta$
- $\delta = 0.203 \times 480 = 97.44$ heures

Fiabilité associée à la MTBF :

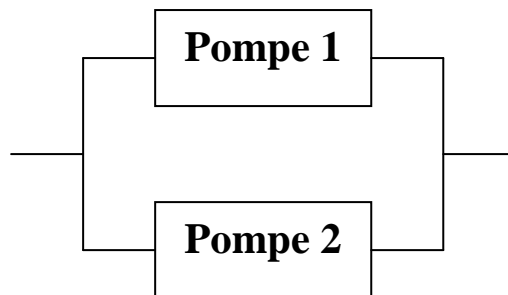
D'après la lecture sur le graphe on a trouvé :

$$F(MTBF) = 0.46 \rightarrow 46\%$$

$$R(t=MTBF) = (100-46)\% = 54\%$$

Pour augmenter la fiabilité de la pompe centrifuge il faut qu'on augmente le MTBF par la redondance active.

En place une autre pompe identique en parallèle avec la pompe



La fiabilité de ce système sera :

$$R_s = (R_1 + R_2) - (R_1 \times R_2)$$

Soit : $R_s = 0.78$

III.6. Conclusion

Ce chapitre a pour objectifs principaux, tels que :

- Assurer le bon fonctionnement de la machine.
- Améliorer la disposition de la machine.
- Pour éviter l'arrêt de la machine à long durée (les facteurs économiques, le temps, l'argent).
- Pour assurer la continuité de la production.
- La maintenance a longtemps joué un rôle curatif dont l'unique objectif était de réduire la durée d'immobilisation des machines. Cette maintenance curative était axée sur le court terme et ne résolvait en rien les problèmes liés aux dégradations inévitables.
- Désormais, la maintenance devient préventive en contribuant à améliorer la productivité dans une entreprise par la fiabilité des équipements et la qualité des produits.
- L'entreprise ne doit pas uniquement subir les événements, elle doit les prévoir et analyser leurs effets sur le long terme.
- Autrefois curative, aujourd'hui préventive, une nouvelle définition de la maintenance est en train de se mettre en place.

CHAPITRE IV

NOTIONS GENERALES SUR LES

RISQUES INDUSTRIELS ET METHODES

D'ANALYSE

Partie I

**NOTIONS GENERALES SUR LES
RISQUES INDUSTRIELS**

IV.1. Introduction

Quand nous parlons d'accidents, nous nous heurtons cependant à des difficultés de taille:

- La perte n'est pas toujours quantifiable de façon simple.
- Quelle est la valeur de la vie humaine par exemple ?
- La probabilité n'est pas facile à calculer ni à concevoir.

Il est possible de se baser sur des statistiques passées, mais mille et un facteurs interviennent dans une situation donnée pour compliquer le calcul, qui n'a parfois aucun sens, et la probabilité d'un évènement très rare est difficile à appréhender.

Pour l'ingénieur à qui on demande de comparer le risque d'un évènement fréquent mais mineur (les accidents de la route par exemple) avec celui d'un évènement rare mais de fortes conséquences (une catastrophe nucléaire par exemple).

IV.2. Définitions des normes ISO

Les professionnels de l'évaluation du risque préfèrent à la définition mathématique du risque d'autres définitions, qui cherchent à préserver la rigueur objective de la définition mathématique tout en la tempérant d'un élément pragmatique. Le risque est alors défini d'une façon plus vague comme la probabilité qu'un certain évènement se produise, ou comme un indice reflétant la catégorisation d'un évènement dans des classes prédéfinies de probabilité et de conséquences. Les définitions sont précisées dans des normes ISO, d'abord le Guide 73: 2002 qui définit **le risque** comme la "**combinaison de la probabilité d'un évènement et de ses conséquences**". Le remplacement du mot produit par combinaison témoigne de l'élargissement de la définition. **La conséquence** est définie comme le "**résultat d'un évènement**" en notant qu'il "peut y avoir plus d'une conséquence d'un évènement", et que ces conséquences "peuvent être exprimées de façon qualitative ou quantitative"

IV.3. Analyse des risques

L'**analyse des risques** d'un procédé industriel est un **point capital** lors de la mise au point d'un nouveau procédé, de la conception d'une nouvelle installation ou la modification d'une installation existante. De sa qualité dépend la pérennité d'un procédé, d'une usine, voire d'une compagnie. C'est une utilisation systématique d'informations pour identifier les phénomènes dangereux et pour estimer le risque.

L'analyse du risque est définie dans le guide ISO/CEI 51: 1999 comme « l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque ». L'analyse des risques vise tout d'abord à identifier les sources de dangers et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens. Dans un second temps, l'analyse des risques permet de mettre en lumière les barrières de sécurité existantes en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection). Consécutivement à cette identification, il s'agit d'estimer les risques en vue de hiérarchiser les risques identifiés au cours de l'analyse et de pouvoir comparer ultérieurement ce niveau de risque à un niveau jugé acceptable. Son estimation peut être effectuée de manière semi quantitative à partir :

- ❖ d'un niveau de probabilité que le dommage survienne,
- ❖ d'un niveau de gravité de ce dommage.

Bien entendu, l'acceptation de ce risque est subordonnée à la définition préalable de critères d'acceptabilité du risque. Avant de mener une analyse de risques, il est essentiel d'analyser le système que l'on souhaite étudier, puisque « un problème sans solution est un problème mal posé »

C'est-à-dire :

- Définir les limites du système.
- Définir les échelles de l'étude.
- Définir le contenu du produit et de l'environnement étudiés, au sens d'une approche systémique, c'est-à-dire « Système = Produit + Environnements ».
- Définir les liaisons et interactions entre ce produit et ces environnements.
- Définir le fonctionnement global de ce système par une analyse fonctionnelle.

IV.4. Management ou gestion du risque

Le but de la sécurité est la réduction des incidents, et de leur gravité, en d'autres termes la réduction du risque. La gestion (management en bon français) des risques n'est pas une activité nouvelle, loin de là, mais ce n'est que récemment que des méthodologies structurées ont émergé, pour évaluer le risque tout d'abord, et en aborder ensuite la gestion d'une manière rationnelle. Un système de gestion des risques comprend les étapes suivantes:

- L'identification des risques.
- L'évaluation (numérique ou purement qualitative) des risques.
- Les critères de tolérance du risque.

- La réduction du risque (on parle aussi de "traitement" du risque).
- Le système de management définit les méthodologies applicables à ces différentes étapes.

Le système décrit ici est comparable à ceux préconisés par la norme ISO 17776:2000, applicable à l'industrie pétrolière, ou la norme ISO 17666:2003, applicable aux systèmes spatiaux, et qui sont les deux seules normes ISO traitant de ce sujet.

Un risque c'est la probabilité qu'un certain incident se produise. Il nous faut donc identifier les incidents. Or un incident c'est la libération d'un danger.

L'identification des risques va donc commencer par l'identification des dangers.

Ceci est une opération relativement facile, car comme nous l'avons vu ailleurs les dangers peuvent être catégorisés selon le type d'énergie qu'ils libèrent. Il existe donc des listes de dangers de taille raisonnable (celle donnée en appendice de la norme ISO 17776 pour l'industrie pétrolière comporte environ 200 dangers génériques et s'applique à n'importe quelle activité). Ces listes vont servir de guide pour l'élaboration d'une liste de dangers spécifique à l'entreprise, qui comportera rarement plus d'une centaine d'éléments.

A partir d'une liste de dangers, présents dans l'entreprise à des degrés divers, il est facile d'élaborer une liste d'incidents possibles, en combinant la liste des dangers avec les activités dangereuses de l'entreprise. Cette liste d'incidents génériques potentiels sera elle aussi d'une longueur limitée, car en général, et sauf cas d'industries exceptionnellement dangereuses, seuls quelques dangers seront omniprésents et engendreront un grand nombre d'incidents potentiels, et quelques activités très dangereuses donneront lieu à un grand nombre d'incidents potentiels. Les autres dangers n'apparaîtront que pour une ou deux activités, et la liste finale dépassera rarement quelques centaines d'incidents génériques potentiels (appelés parfois scénarios). Mais les moyens informatiques courants permettent de gérer des listes beaucoup plus longues si le besoin s'en faisait sentir (des études sur les systèmes d'évacuation de plateformes gazières en Mer du Nord ont ainsi défini quelques milliers de scénarios).

IV.5. Évaluation du risque

L'évaluation du risque désigne une procédure fondée sur l'analyse du risque pour décider si le risque tolérable est atteint. Elle revient à comparer le niveau de risque estimé à un niveau jugé acceptable ou tolérable.

Un registre complet de toutes les sources de risques, sous la forme d'une liste d'incidents potentiels génériques peut être établi, il faudra évaluer le risque associé à chaque incident, pour aboutir à un inventaire hiérarchisé des scénarios d'incidents potentiels. Il est clair que les

seuils d'acceptation du risque et d'intolérance sont le reflet de l'attitude de l'entreprise et de la société par rapport au risque. Une fois fixés, ils ne doivent pas être modifiés.

❖ **Acceptation du risque**

La définition de critères d'acceptabilité du risque est une étape clé dans le processus de gestion du risque dans la mesure où elle va motiver la nécessité de considérer de nouvelles mesures de réduction du risque et rétroactivement, influencer les façons de mener l'analyse et l'évaluation des risques. L'objectif à atteindre.

Les entreprises peuvent avoir une idée différente de celle du public en général ou des autorités de tutelle, il est nécessaire pour une entreprise de confronter son projet de seuils de tolérance avec celui des autres parties prenantes, pour éviter tout malentendu. Mais le processus systématique décrit ici, sans donner de solution toute prête, permet de cerner le débat, et de préciser les choix éthiques qui doivent être faits. Ce processus permet, une fois les choix faits, de les communiquer efficacement et d'améliorer la cohérence interne des actions de l'entreprise par rapport à ses choix fondamentaux. Les trois zones qui viennent d'être définies (acceptable, intolérable et intermédiaire) peuvent être reportées sur la matrice des risques pour classifier chaque incident générique potentiel, et définir le type d'action requis dans chaque cas.

IV.6. Traitement du risque

• **Type d'action**

L'élaboration d'un registre des risques de l'entreprise n'est pas une fin en soi.

Il faut maintenant partir de ce registre pour définir l'action à entreprendre, ou réévaluer les programmes d'action existants.

Le type d'action correspondant à chaque catégorie de risque peut se résumer ainsi:

Zone d'intolérance: éliminer la source du risque par tous les moyens possible. L'analyse coût bénéfice est inappropriée dans ce cas. D'autres critères, numériques ou non, doivent être utilisés pour juger de l'opportunité de telle ou telle mesure.

Zone d'acceptabilité: Les mesures existantes quelles qu'elles soient sont suffisante et aucune action supplémentaire n'est nécessaire.

Zone intermédiaire: une réduction du niveau de risque est nécessaire. Des mesures supplémentaires doivent être introduites, en tenant compte de leur rapport coût bénéfice.

Les normes ISO (en particulier le Guide 73) parlent aussi de "traitement du risque", car dans un contexte financier, le risque peut être réduit par d'autres méthodes, par exemple il peut être transféré vers une autre entité juridique par le biais d'un mécanisme d'assurance.

Dans le contexte de la sécurité industrielle, le transfert du risque n'est pas considéré comme acceptable, même si les assurances peuvent être utilisées pour amortir les conséquences financières des accidents. En d'autres termes, le fait d'avoir assuré les conséquences d'un scénario d'incident ne dispense pas l'entreprise de l'effort de prévention.

- **Mesures de réduction du risque**

Ces mesures viseront, dans l'ordre de préférence:

- ☒ L'élimination du risque, par un changement de méthode de travail qui élimine le danger complètement.
- ☒ la réduction de la fréquence des incidents (mesures de prévention).
- ☒ la réduction de la gravité des conséquences, par des mesures de protection.

L'ensemble des programmes de sécurité et de protection de l'environnement de l'entreprise peut donc être passé en revue, pour le mettre en accord avec les priorités qui découlent directement du registre des risques.

- ☒ Il est également possible de définir un rapport coût - bénéfice de chaque mesure possible, utilisant l'indice de risque précédemment défini, pour décider quelles mesures seront mises en œuvre. Il est cependant prudent de ne pas attribuer de valeur excessive à l'indice de risque, qui est par définition relatif, et ne prendra pas en compte des facteurs liés à la perception du risque tels que par exemple la priorité qui doit être donnée à la préservation de la vie humaine. Nous avons vu aussi que cette analyse coût bénéfice n'est pas acceptable dans le cas de risques intolérables.

La gestion du risque peut être définie comme l'ensemble des activités coordonnées en vue de réduire le risque à un niveau jugé tolérable ou acceptable. Cette définition cohérente avec les concepts présentés dans les guides ISO/CEI 51 et 73 s'appuie ainsi sur un critère d'acceptabilité du risque. De manière classique, la gestion du risque est un processus itératif qui inclut notamment, les phases suivantes :

- ❖ appréciation du risque (analyse et évaluation du risque).
- ❖ acceptation du risque.
- ❖ maîtrise ou réduction du risque.

L'enchaînement de ces différentes phases est décrit de manière schématique dans la figure .IV.1 ci-dessous

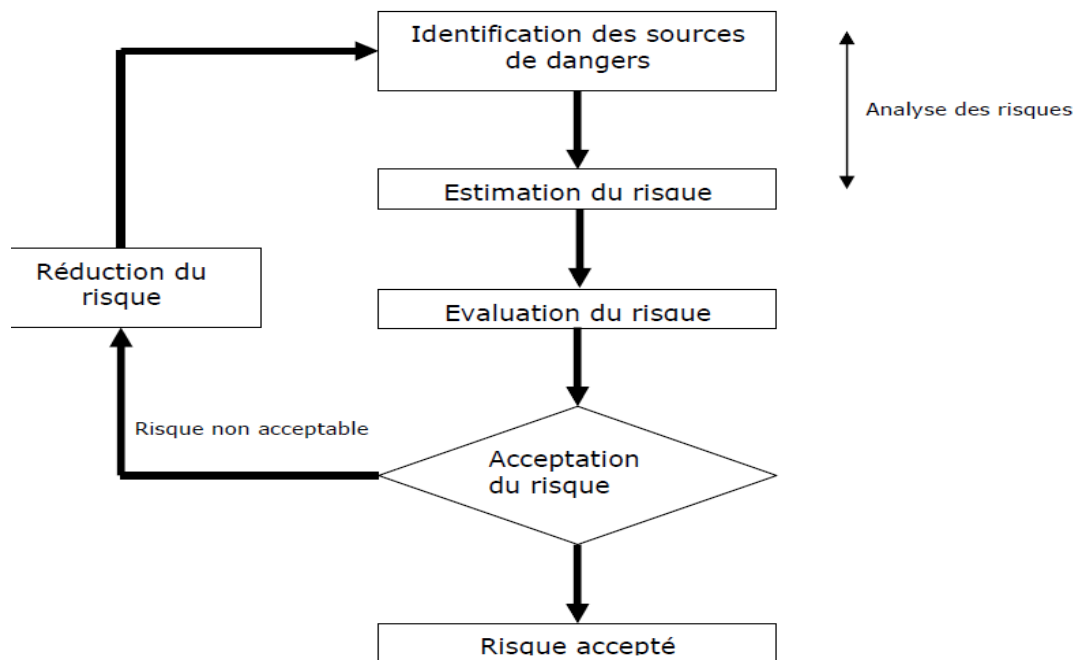


Figure .IV.1 : différents phases de la gestion du risque

Avant de mener une analyse de risques, il est essentiel d'analyser le système que l'on souhaite étudier, puisque « un problème sans solution est un problème mal posé »

C'est-à-dire :

- 1) Définir les limites du système.
- 2) Définir les échelles de l'étude.
- 3) Définir le contenu du produit et de l'environnement étudiés, au sens d'une approche systémique, c'est-à-dire « Système = Produit + Environnements ».
- 4) Définir les liaisons et interactions entre ce produit et ces environnements.
- 5) Définir le fonctionnement global de ce système par une analyse fonctionnelle.

Partie II

METHODES D'ANALYSE DES RISQUES

IV.7. Introduction

Afin de pouvoir mettre en œuvre une même méthode d'analyse des risques dans des contextes différents, il est important et appréciable que les étapes de l'analyse des risques soient formalisées. Ceci doit permettre d'exploiter plus facilement les résultats de l'expérimentation, et plus facilement donc de les comparer. Plus le nombre d'étapes formalisées sera important, plus la méthode qui les contient sera susceptible d'être privilégiée.

IV.8. Formalisation des étapes de l'analyse des risques

A priori toutes les analyses des risques visent à identifier les risques présentés par un système en vue de pouvoir ensuite agir pour en réduire la gravité et la probabilité. Ces objectifs se traduisent dans les méthodes d'analyse de risques par des étapes plus ou moins formalisées visant :

- Définition du système auquel la méthode va être appliquée.
- Identification des risques.
- Identification des mécanismes générateurs de risques.
- Evaluation des scénarios de réalisation de ces risques.
- Hiérarchisation de ces mêmes scénarios.
- Identification des solutions.

Toutes les méthodes d'analyse contiennent implicitement l'ensemble de ces étapes (exceptée pour certaines l'étape 5 de hiérarchisation). Notre choix de méthode sera tourné vers une méthode où, si possible, la plupart de ces étapes sont décrites précisément dans leurs buts et dans leur mise en œuvre.

IV.9. Utilisation d'un modèle d'accident

Le modèle d'accident est une représentation visant à formaliser le processus de déroulement de l'accident. Ce modèle constitue l'élément structurant de la méthode qui dans l'application se voit comme le guide de la réflexion lors de l'identification des risques. Les méthodes d'analyse des risques utilisent ou non un modèle, qui peut différer d'une méthode à l'autre. Cela a une influence sur l'efficacité de l'analyse qui passe, entre autres, par le degré d'approfondissement possible dans les recherches des causes du risque, des aspects abordés, par les modèles et outils employés. Pour notre expérimentation, la présence d'un modèle d'accident simple pouvant être aisément expliqué à l'entreprise et intégré par celle-ci afin de faciliter l'analyse des risques est un critère très important.

IV.10. Sens de raisonnement

Il existe deux grands types de démarches d'investigation pour l'analyse des risques, inductive et déductive. Les démarches inductives procèdent des causes vers les effets, et celles déductives des effets vers les causes. Ce sens de raisonnement intervient dans l'analyse des risques lors de l'étape de recherche des scénarios d'accidents potentiels, sous la forme de deux questions possibles à se poser :

- Quels événements peuvent produire un accident redouté (mode déductif)?
- Quelles conséquences graves (accidents) peut avoir un incident (pannes) (mode inductif)?

On peut classer les études de danger suivant le sens de la démarche mais elles associent souvent les deux modes de réflexion (inductif et déductif) considérés comme complémentaires, en faisant appel à plusieurs méthodes d'analyse (par exemple : AMDEC et arbres de défaillances).

Ces critères de comparaison et de choix étant posés, il s'avère nécessaire maintenant de décrire chaque méthode dans son fonctionnement et de voir où elle se situe en fonction des critères établis. Il est très peu probable qu'une méthode corresponde au "choix idéal", nous choisirons donc celle qui s'en rapproche le plus.

IV.11. Méthodes principales de la sûreté de fonctionnement**IV.11.1. Analyse préliminaire des risques**

L'APR a pour objet d'identifier les risques d'un système et par la suite de définir des règles de conception et des procédures afin de maîtriser les situations dangereuses. Elle intervient le plus efficacement au stade de la conception et doit être remise à jour dès qu'un nouveau matériel est ajouté mais aussi lors du développement et de l'exploitation.

Pour déceler les risques et leurs causes, on recherche:

- Les éléments pouvant être dangereux.
- Ce qui transforme les éléments dangereux en situations dangereuses.
- Les situations dangereuses.
- Les éléments transformant ces situations en accidents potentiels.
- Les accidents potentiels et leurs conséquences en termes de gravité.

Ensuite on cherche des mesures préventives comme des règles de conception ou des procédures afin d'éliminer ou de maîtriser les situations dangereuses et les accidents

potentiels mis en évidence. On doit aussi vérifier que les mesures sont efficaces. On peut schématiser l'APR par son modèle d'accident voir Figure .IV.2.

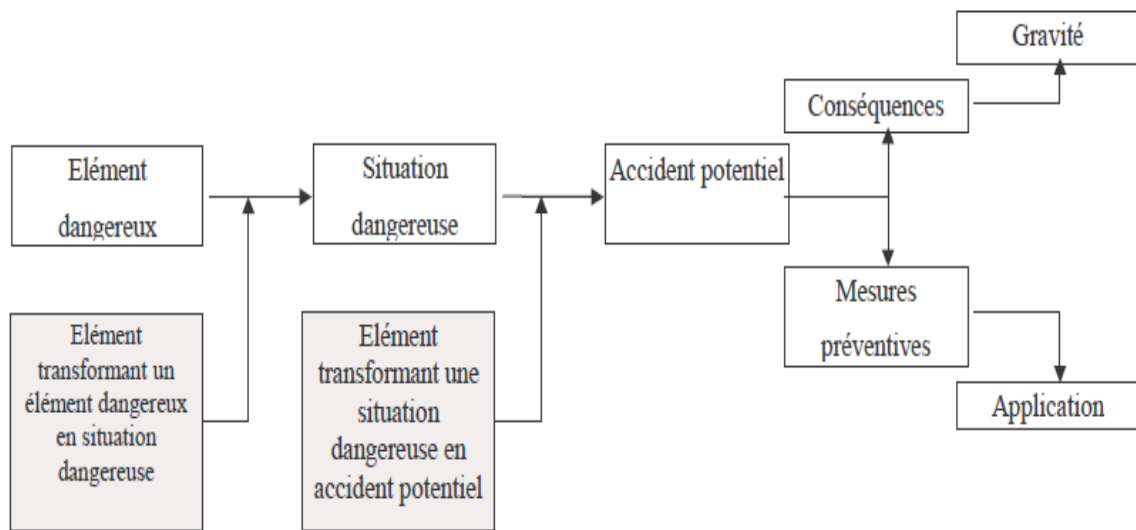


Figure .IV.2. Démarche de fonctionnement de l'APR contenant le modèle implicite de l'accident

Pour cette méthode, il peut être utile de construire et d'utiliser des check-lists d'éléments et de situations dangereuses, il en existe déjà pour certains domaines d'activité (industrie chimique, industrie aéronautique).

IV.11.2. Analyse des modes de défaillance et de leurs effets

Il s'agit d'une des méthodes très utilisées en fiabilité technique, en particulier dans les domaines de l'aéronautique, du nucléaire, du spatial

Mode de défaillance d'un composant : effet par lequel une défaillance de ce composant est observée

Défaillance : cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise

On emploie cette méthode a priori en exploitation mais surtout en phase de conception.

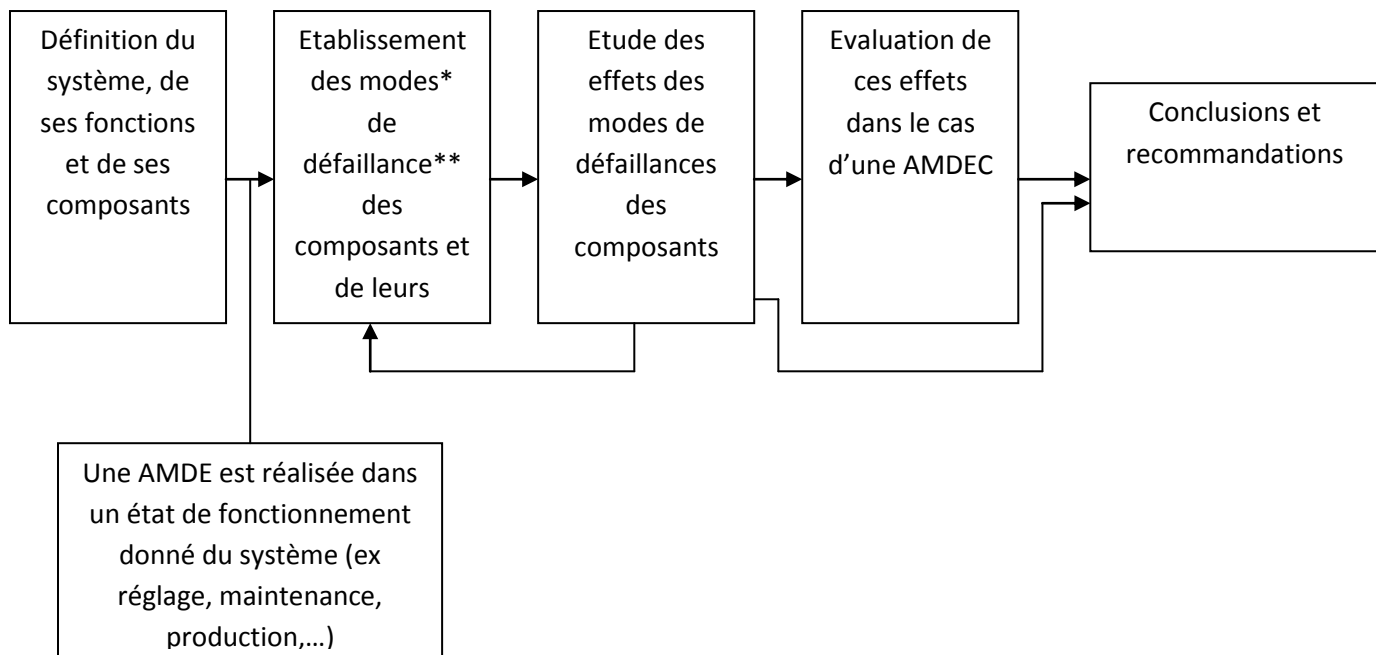


Figure .IV.3.Démarche de fonctionnement d'une AMDE AMDEC

Cette AMDE ou FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) consiste à identifier les modes de défaillance et chercher leurs causes et leurs effets qui affecteraient les composants du système étudié (voir Figure .IV.3). Plus généralement on emploie l'AMDE pour identifier les modes de défaillance ayant d'importants effets sur la fiabilité, la maintenabilité, ou la sécurité du système. L'AMDE peut utiliser un tableau dans lequel on décrit le fonctionnement de la méthode. On définit le système en déterminant ses principales fonctions, ses limites fonctionnelles et celles de ses composants. On s'intéresse ensuite aux spécifications relatives au fonctionnement, aux composants de ce système et à l'environnement de ce système. Le repérage des phases de vie les plus critiques se fait à ce moment là, par le biais d'une APR par exemple. La deuxième étape est l'établissement des modes de défaillance du système. On recense pour chacun des composants, dans une phase de vie donnée, ses modes de défaillance qui se définissent par l'effet par lequel une défaillance de ce composant est observée. Cette étape peut être facilitée par l'utilisation de check-list de modes génériques de défaillance (fonctionnement intempestif ou prématuré, non fonctionnement au moment prévu, non arrêt au moment prévu). On examinera ensuite les effets de ces modes sur les fonctions du système ainsi que sur chacun des composants. On peut étendre cette AMDE en s'intéressant à la probabilité et à la criticités des effets, on fait

alors une AMDEC (Analyse des modes de défaillance, leurs effets et de leur criticité). On construit, dans ce cas, une grille de criticité figure .IV.4.

Probabilité Gravité	Très faible	Faible	Moyenne	Forte
Effets mineurs				
Effets significatifs				
Effets critiques				
Effets catastrophiques				

Figure .IV.4.Exemple d'une grille de criticité dans le cadre d'une AMDEC

Zone de criticité

L'évaluation de la probabilité et de la criticité des événements redoutés permet de les comparer. Si on veut connaître les risques inhérents à l'activité d'un ensemble de systèmes, on fait alors l'AMDE(C) de chaque sous-système et on étudie en plus leurs interactions. Afin de faciliter des étapes de l'AMDE et de mieux les formaliser, on emploie parfois des outils tels que l'APR (pour déterminer les phases de fonctionnement les plus critiques mais aussi pour élargir le champ de l'AMDE en intégrant le facteur humain), ou l'arbre des causes pour recenser les causes des modes de défaillance et bien distinguer modes de défaillance, causes de défaillance et effets de la défaillance. D'autres outils tels que la méthode des pannes résumées peuvent aussi être utilisés.

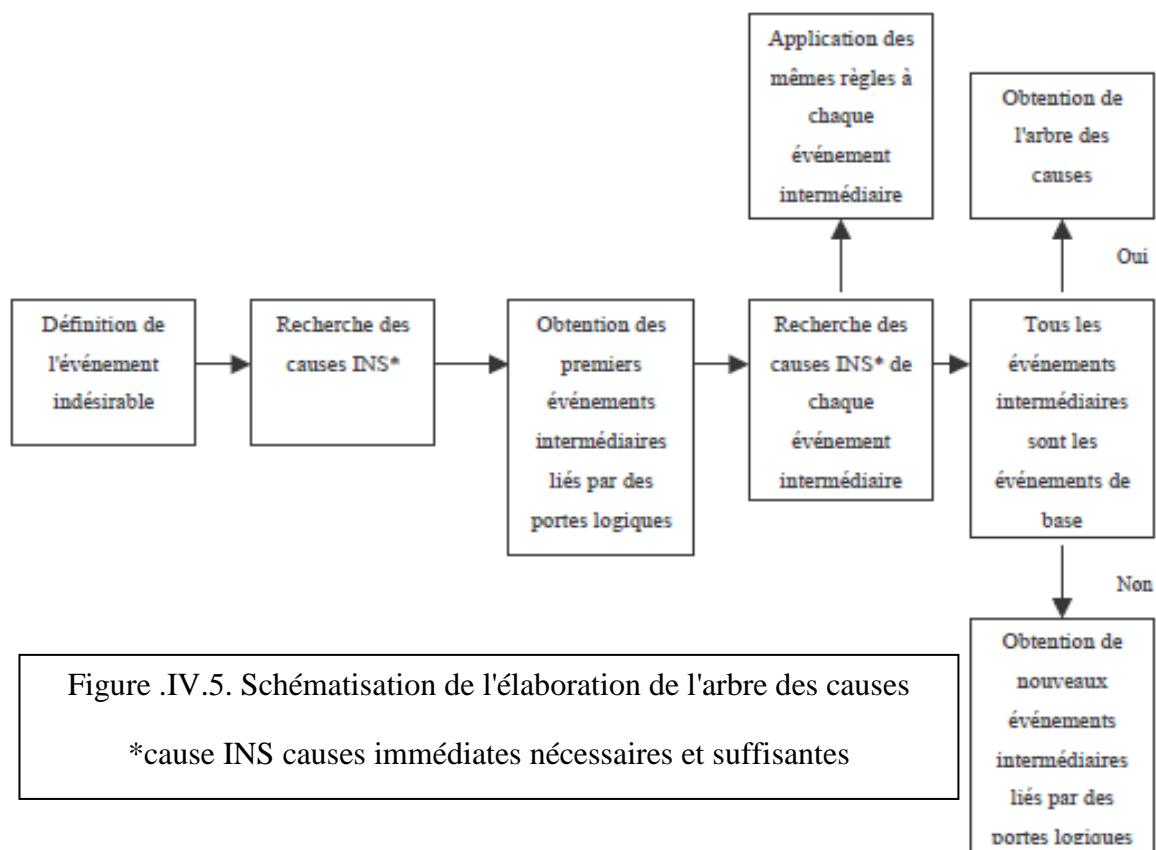
IV.11.3. Analyse par arbre des défauts (ou des causes, des défaillances, des fautes)

Il s'agit d'un arbre logique représentant les combinaisons d'événements élémentaires qui conduisent à la réalisation d'un événement jugé indésirable. Il est formé de niveaux successifs tels que chaque événement intermédiaire soit généré par des événements du niveau

inférieur. L'arbre se développe grâce au processus déductif en partant de l'événement indésirable jusqu'aux événements de base (événements dits élémentaires). Ceux-ci doivent être indépendants entre eux, leur probabilité d'occurrence doit pouvoir être estimée. Par ailleurs on considère que l'on a atteint un événement de base lorsqu'il devient inutile de le décomposer. Ce critère, relativement subjectif, nécessite de la part de l'utilisateur un certain niveau d'expertise. Contrairement à l'AMDE, on n'examine pas les pannes ou les dysfonctionnements qui n'auraient pas de conséquences significatives. L'arbre des causes est donc une représentation graphique formée d'événements et de portes logiques reliant les événements entre eux.

Causes INS : causes immédiates, nécessaires et suffisantes la figure .IV.5. : Schématisation de l'élaboration de l'arbre des causes

Pour la mise en oeuvre de l'arbre des causes, on peut définir 5 étapes



- la connaissance du système : la méthode n'explicite pas les critères de définition du système mais préconise néanmoins que l'analyste en ait une bonne connaissance.

-
- la définition des événements indésirables : c'est une étape peu formalisée qui doit faire appel à d'autres outils tels que l'APR, l'AMDE.
 - la construction des arbres de défaillances utilise un formalisme précis (portes ET et OU, rectangles pour les événements finaux et intermédiaires, ronds pour les événements élémentaires,)
 - l'évaluation de la probabilité d'apparition de l'événement indésirable : C'est une évaluation quantitative qui est prévue. Pour l'exploitation quantitative, on cherche à relier les événements de base avec celui de tête par le chemin le plus direct (notion de coupe minimale). D'autre part la structure logique permet d'utiliser l'algèbre de Boole pour simplifier l'arbre (par exemple, réduction des fausses redondances).
 - l'exploitation des résultats : à partir des événements de base, on calcule la probabilité de l'événement redouté et les chemins les plus probables

IV.11.4. Analyse par arbre d'événements ou arbre des conséquences (event tree)

Il s'agit également d'une méthode probabiliste qui se prête à la quantification, comme l'arbre des causes. C'est une forme dérivée de l'analyse de la décision que nous n'aborderons pas. Le principe consiste à partir d'un événement élémentaire susceptible d'être à l'origine d'une séquence accidentelle puis de déduire les conséquences possibles de cet événement. L'arbre développe à partir d'un événement initiateur et progresse surtout dans le cas où des systèmes sécurité sont mis en place pour enrayer le déroulement des événements menant à l'accident. On part d'un événement initiateur considéré comme un événement conduisant à un événement indésirable. On élabore alors une séquence d'événements qui est une combinaison temporelle (fonctionnement ou panne de systèmes élémentaires) conduisant à des événements indésirables. On ne prend généralement en compte que les événements (pannes) de probabilités jugées suffisantes pour rendre le scénario plausible (voir Figure .IV.6.). Ce processus peut amener à un nombre considérable de séquences, son originalité réside donc dans les processus utilisés pour réduire ce nombre. Cependant pour que ces réductions n'amènent pas à des représentations fausses des séquences accidentelles, cette méthode nécessite de connaître parfaitement et complètement le système. Ce n'est possible que pour des systèmes relativement réduits. Lorsqu'on connaît les fonctions dont les échecs mènent à l'accident, on emploie l'arbre des causes pour envisager les causes conduisant à l'échec de ces fonctions. Cet arbre se prête assez bien à l'analyse quantitative.

On peut alors mener une analyse systématique des conséquences potentielles d'un événement ou d'une séquence d'événements. Si on prend n événements initiateurs, on a alors 2^n chemins possibles et autant d'événements finaux et ainsi de suite. Par exemple, en exploitation, on peut faire une analyse quantitative des probabilités de défaillance et / ou de bon fonctionnement pour chaque événement initiateur.

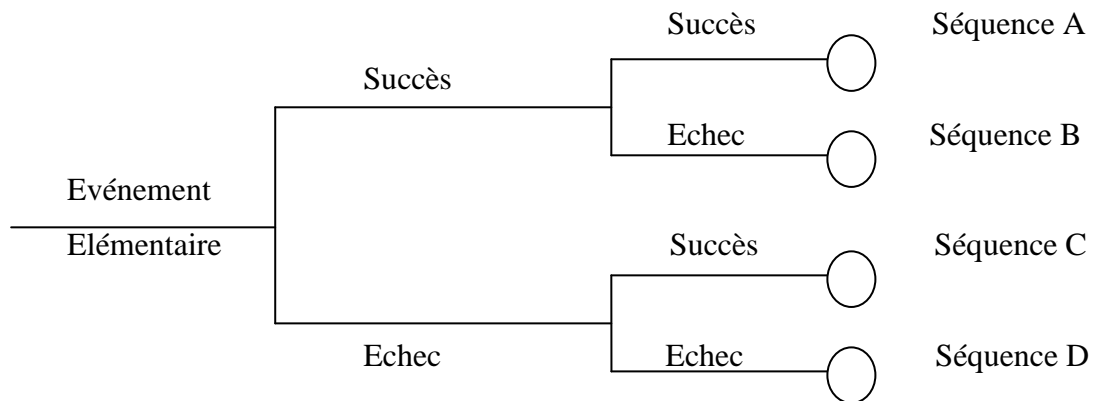


Figure .IV.6. Principe d'un arbre d'événement

Surtout utilisée de manière probabiliste (mais pas seulement), en particulier dans le domaine du nucléaire, elle est généralement employée avec l'arbre des causes. Son utilisation est donc de prime abord inductive mais peut aussi conduire à une démarche déductive en l'associant à un arbre de défaillances. Il est difficile d'étudier une installation importante avec l'arbre des conséquences (pas seulement du fait de la taille importante mais surtout à cause du grand nombre d'arbres engendrés) - on peut limiter la taille en limitant le niveau de détail, comme pour l'arbre des causes - en revanche on ne peut pas représenter et être sûr d'avoir pris en compte les interactions entre chaque sous-système étudié.

IV.11.5. Diagramme causes - conséquences

Utilisé en premier lieu dans le domaine du nucléaire par le biais de la fiabilité, ce diagramme est une combinaison de l'arbre des causes et de celui des conséquences. Cette méthode n'a été mise en application que dans un champ limité. On associe les deux démarches inductive et déductive, c'est donc une démarche qui se fait en deux temps : La partie "causes" représentant un ou plusieurs événements "sommet" (comme la défaillance d'un composant ou d'un sous-système), conduisant à des conséquences non souhaitées. La partie "conséquences" donnant les conséquences envisageables lorsque se réalisent les

événements "sommet" en tenant compte des conditions de fonctionnement ou de défaillance de composants ou d'autres sous-systèmes (par exemple le sous système de protection).

Les principales étapes de l'élaboration du diagramme causes. Conséquences sont (principes détaillés dans la figure IV.7.) :

- la sélection de l'événement initiateur parfois nommé événement critique lié à des défaillances de composants ou de sous-systèmes et qui est a priori susceptible d'engendrer des conséquences redoutées que l'on cherchera à préciser. Cette sélection peut se faire par la méthode AMDE (analyse des modes de défaillances et de leurs effets). La recherche des causes de cet événement initiateur par la méthode de l'arbre des causes. L'événement initiateur équivaut alors à l'événement indésirable défini dans cette méthode. La recherche des conséquences de l'événement initiateur par la méthode de l'arbre des conséquences généralement.

On obtient alors par développements successifs un diagramme causes- conséquences représentant les chemins partant des causes de défaillances et aboutissant à des conséquences. En analysant ce diagramme, on obtient la liste des combinaisons d'événements qui peuvent conduire aux événements indésirables ou non souhaités (voir la figure correspondante). Ce processus doit être généralisé à tous les événements pouvant être considérés comme événements "sommet". On se trouve alors avec un ensemble de diagrammes représentant une grande partie des combinaisons possibles allant des événements initiateurs aux événements non souhaités (ou ENS). On utilise alors les outils des arbres des causes et des conséquences pour réduire ce diagramme. Ce diagramme ouvre une possibilité d'analyse quantitative de la probabilité des événements finaux ou événements redoutés

IV.11.6. Méthode MOSAR (Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques)

Il s'agit d'une méthode d'analyse des risques reposant sur un modèle d'accident et formalisant un grand nombre des étapes de l'analyse des risques. C'est une méthode nécessitant la réflexion d'un groupe de travail concerné par le système étudié. Ce travail de groupe est aussi souvent implicitement préconisé dans la plupart des méthodes précitées. Le modèle d'accident nommé MADS (Modèle d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes) définit l'accident comme un événement non souhaité résultat de l'atteinte d'une ou plusieurs cibles du danger par un flux de danger lui-même issu d'une source de danger (voir Figure suivante). Des événements internes ou non au système étudié peuvent aggraver la situation

Ce modèle repose sur les notions :

- de système(s) source : système(s) à l'origine des flux de danger donc des événements non souhaités.
- de système(s) cible : système(s) sensible(s) aux flux de danger et subissant des dommages.

Il existe quatre types de cibles déjà citées.

- d'événement initial : événement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou d'une situation normale à un état ou une situation défailante.
- d'événement non souhaité : ensemble de dysfonctionnements susceptibles de provoquer des effets non souhaités sur des systèmes cibles.
- de flux de danger : vecteur du danger déclenché par l'événement initiateur.
- d'événement initiateur qui va déclencher l'événement initial.
- d'événement renforçateur qui accroît la vulnérabilité de la cible ou augmente les effets.

Cette méthode intègre l'approche déterministe du risque et l'approche probabiliste lorsque cela est possible. On peut considérer un grand nombre de types d'accident puisque l'on applique ce modèle d'accident (basé sur le processus de danger) sur le ou les champs d'application qui nous intéressent. On aboutit à la construction de scénarios dans lesquels on peut ensuite mettre en place des mesures de prévention ou de protection en les définissant précisément dans la durée et dans leur action sur le système.

Les étapes principales de la méthode sont caractérisées par:

- un module de définition du système s'appuyant sur les principes de la systémique [LEMOIGNE 1977]. On considère alors le système à étudier, son environnement extérieur et ses interactions avec les autres systèmes. Si le système est trop important, on le décompose alors rigoureusement en sous-systèmes ayant les mêmes propriétés.
 - un module d'identification des risques qui passe par l'identification des sources et des cibles du danger. On peut utiliser les arbres logiques pour représenter les processus d'accident (cf. l'AMDE).
 - un module d'évaluation des risques qui utilise la même grille gravité / probabilité que l'AMDEC à laquelle on associe la limite d'acceptabilité permettant de distinguer les risques acceptables des risques inacceptables. Les risques inacceptables feront alors l'objet d'actions prioritaires de prévention.
-

- un module de proposition de solutions pour rendre les risques inacceptables acceptables.

On sort alors du domaine de l'audit. On définit (et caractérise) ensuite les solutions choisies (quoi, par qui, comment, fréquence des vérifications).

- un module de vérification de l'efficacité et donc de validation des solutions choisies.

Si ces solutions ne sont pas satisfaisantes, on relance alors la méthode. Cette méthode contient une deuxième partie, la partie B, qui utilise les outils de la sûreté de fonctionnement tels que l'arbre des causes afin de rentrer dans le détail des scénarios inacceptables établis précédemment. Cela est indispensable lorsque le degré de décomposition de l'accident n'a pas été suffisant pour définir la ou les mesures de prévention à mettre en place qui répondent aux exigences que l'on s'est fixées (niveau de sécurité, coût).

Dans toutes ces approches il faut cependant bien garder à l'esprit qu'il est très difficile, voire impossible de prendre en compte toutes les dimensions du risque : **spatiale** et **temporelle**.

Nous sommes par ailleurs toujours dans une situation **de conflit**. Conflit homme/nature, justice/profit, pauvreté/richeesse....

Démontrer par la systémique, le risque est d'autre part le **moteur de l'évolution**, ce qui pose le problème de savoir s'il faut l'éliminer ou non.

Enfin, la maîtrise du risque est au cœur des **processus de décision** comme participant aux choix et aux arbitrages dans la **gestion des conflits** par tout **décideur**, afin de **minimiser** les occurrences et les effets des dangers possibles.

.

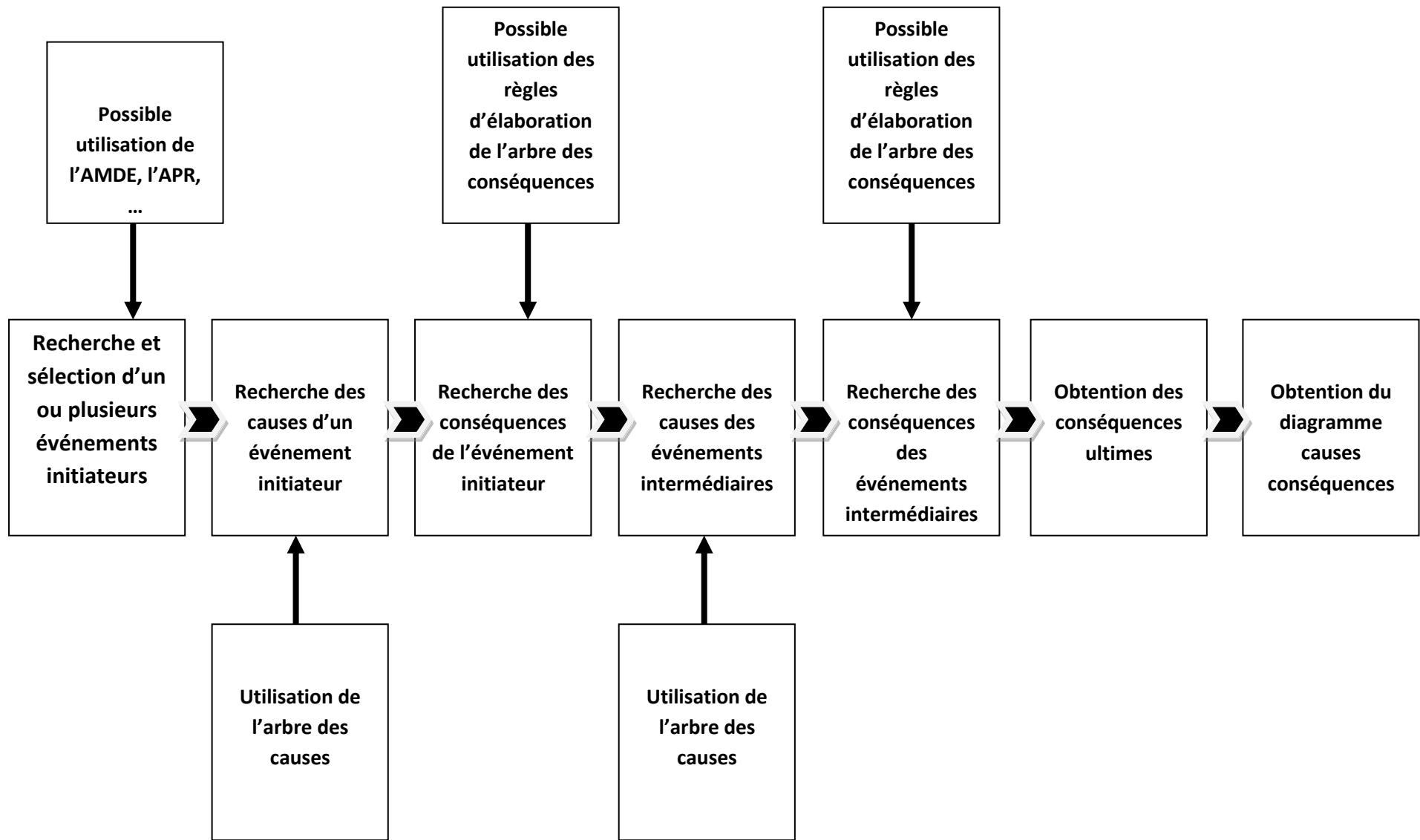


Figure .IV.7.Etapes de l'élaboration du diagramme causes- conséquences et outils pouvant y être associées éventuellement

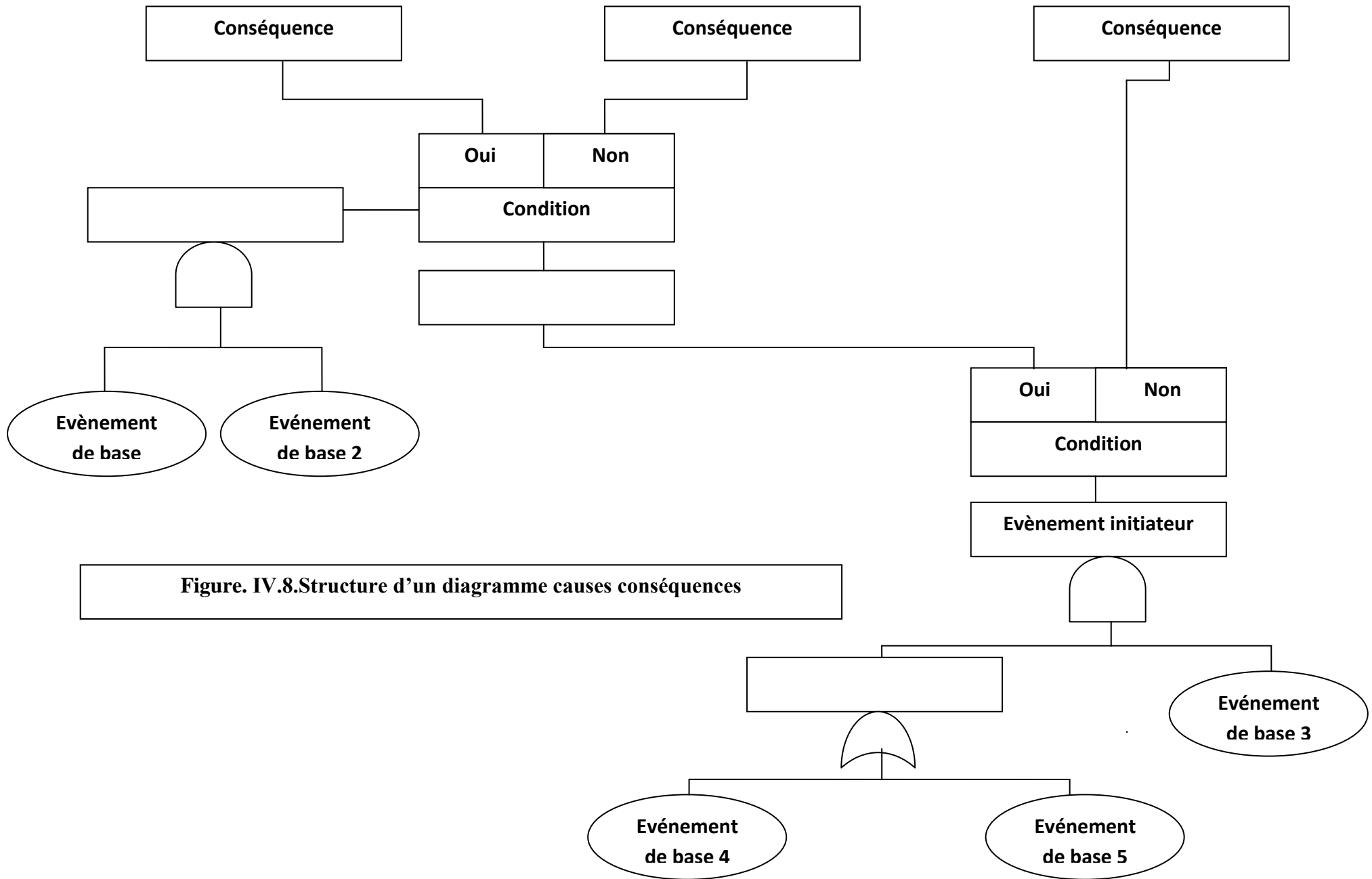


Figure. IV.8. Structure d'un diagramme causes conséquences

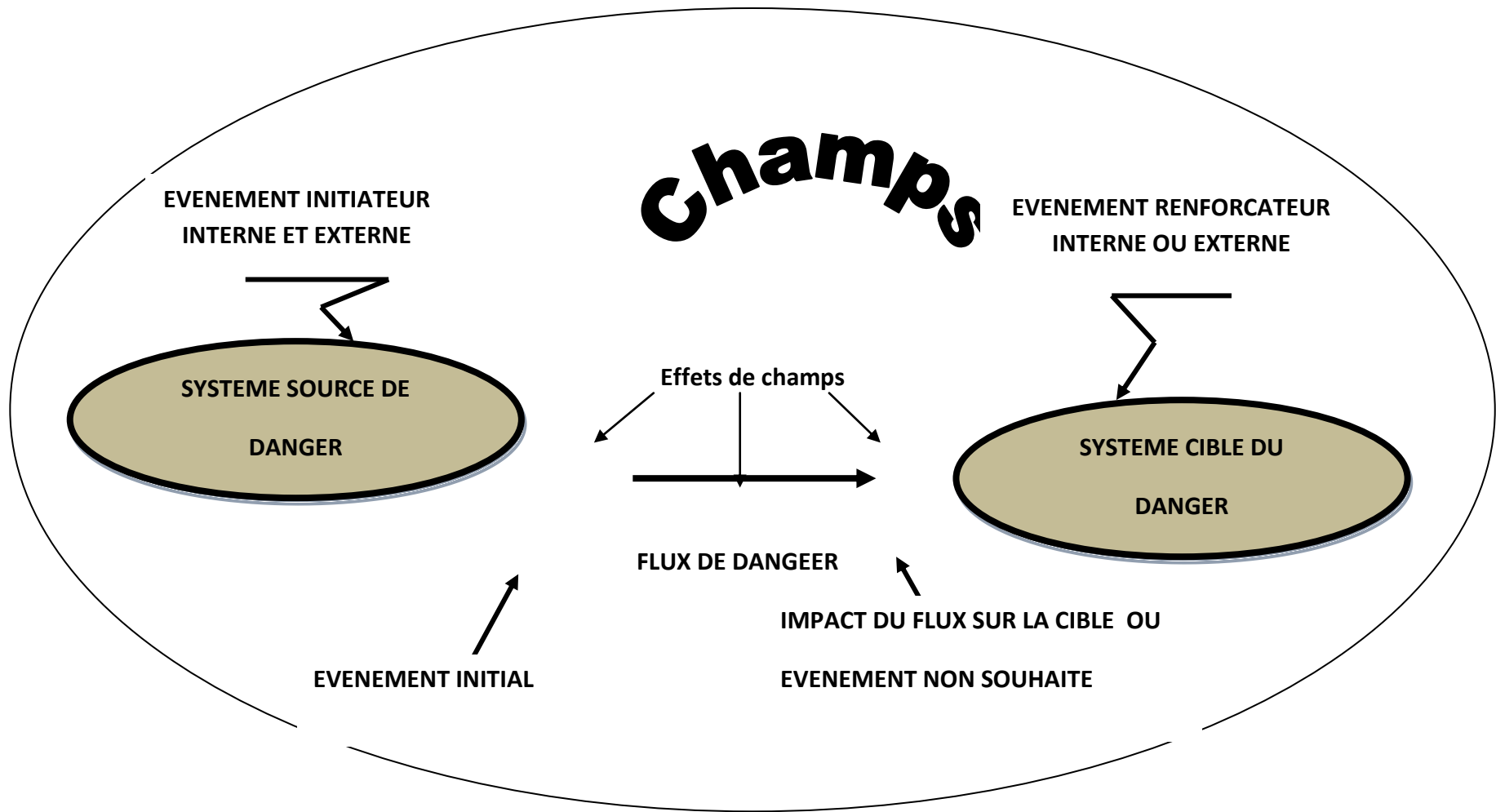


Figure .IV.9. Modèle d'accident selon P. Périlhon : MADS [PERILHON 2000]

CHAPITRE V
PRINCIPES ET APPLICATION
DE LA METHODE HAZOP

Partie I

GENERALITES SUR HAZOP

V.1. Introduction

En 1979, la centrale nucléaire de Three Mile Island (Pennsylvanie, USA) a connu un accident de fusion de cœur suite à une série de dysfonctionnements (défaillance matérielle, faute de maintenance, erreurs de procédure, etc.) ayant entraîné la perte du système de refroidissement secondaire puis la destruction partielle du réacteur n°2. Les rejets radioactifs n'ont pas affecté les populations ni l'environnement grâce à la fiabilité de l'enceinte de confinement. Il n'y a pas eu de victime mais près de 100 000 personnes ont été déplacées provisoirement. Cet accident est classé au niveau 5 sur l'Echelle Internationale des Événements Nucléaires (INES). Ce jour-là, une fuite de 40 tonnes d'un gaz toxique, l'isocyanate de méthyle, s'est produite dans une unité de fabrication de l'engrais Carbaryl appartenant au groupe américain Union Carbide. Le nuage toxique, plus dense que l'air, s'est répandu dans les quartiers adjacents à l'usine, entraînant la mort de milliers de personnes.

La méthode HAZOP, (HAZard OPerability) a été développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970. Elle a depuis été adaptée dans différents secteurs d'activité. Considérant de manière systématique les dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

V.2. Principe et Application

L'analyse de risques HAZOP (HAZard; OPerability), est une méthode de revue systématique permettant d'identifier et d'analyser les dysfonctionnements d'une installation de procédés et la mise en place de mesures compensatoires.

HAZOP est une méthode qualitative d'analyse de risques, alimentée par une équipe multidisciplinaire (l'équipe HAZOP).

L'HAZOP intervient lors des phases d'industrialisation, c'est-à-dire lorsque le projet est suffisamment avancé pour que des solutions techniques aient déjà été choisies. Elle consiste à étudier l'influence des déviations par rapport à leurs valeurs nominales des divers paramètres physiques (température, pression, débit, etc.) régissant le procédé. À l'aide de mots-clés (plus, moins, pas de, inverse, etc.), les dérives imaginées de chaque paramètre sont examinées systématiquement afin de mettre en évidence leurs causes, leurs conséquences, les moyens de détection et les actions correctrices.

Les HAZOP sont généralement menées uniquement sur les éléments du procédé nécessitent des analyses de risques plus détaillées identifiées lors des Analyses Préliminaires des Risques.

A noter que la qualité des résultats d'une HAZOP dépend du mode de fonctionnement du groupe d'analyse et en particulier de celui qui tient le rôle d'animateur ("HAZOP leader"), en particulier de la manière dont il constitue l'équipe d'analyse, gère les échanges et oriente les débats généralement lors de réunions.

L'application de la méthode HAZOP présente des similitudes avec l'application de la méthode AMDEC. Cependant, l'une mettra en évidence les dérives au niveau des installations, sans évaluation de criticité et donnera des recommandations d'élimination de la cause, l'autre sera centrée sur les défaillances des composants d'un système, avec évaluation et recherche des actions correctives en fonction d'un indice de priorité des risques.

En pratique, la qualité d'une analyse de risques HAZOP dépend non seulement de la capacité de l'animateur à appliquer la méthode, mais surtout à poser les bonnes questions afin de s'assurer que le groupe de travail identifie tous les risques inhérents au procédé étudié, pas seulement les dangers les plus évidents. Cette compétence est principalement basée sur l'expérience de l'animateur (méthodologie HAZOP, connaissance des procédés industriels et leur sécurité, de l'accidentologie, ...).

V.3. Différentes étapes de la méthode

V.3.1. Phase préparatoire

L'entreprise doit évaluer la nécessité et la pertinence de recourir à l'HAZOP⁴, puis délimiter son périmètre d'application. Le système sera divisé en sous-systèmes appelés "nœuds", l'installation examinée sera appelée "ligne" ou "maille". L'équipe de travail constituée doit être pluridisciplinaire et doit parfaitement connaître et maîtriser le nœud et ses lignes/mailles. Elle délimitera les contours du sujet et en dégagera les objectifs.

V.3.2. Générer les dérives potentielles

Afin de générer efficacement des dérives potentielles, la méthode HAZOP prévoit d'associer des mots-clés - qui seront représentatifs des types de déviation possible du système sous la forme de propositions conditionnelles - à tous les paramètres pouvant interagir sur la sécurité du système. L'équipe de travail sélectionne un paramètre de fonctionnement de l'exploitation (ex. la température, le temps, la pression, le débit...) ; choisi un mot-clé définissant une déviation⁵. C'est la combinaison du mot-clé et du paramètre qui constitue la dérive. Par exemple le paramètre " Pression ", associé au mot-clé de déviance "Supérieur à" et

une valeur limite, exprime un risque d'une surpression. L'équipe fixe la liste des dérives plausibles issues des combinaisons paramètres mots-clés pour déclencher l'analyse des causes et conséquences potentielles.

V.3.3. Identifier les causes et les conséquences potentielles

Le groupe de travail réfléchit aux causes et aux conséquences que peuvent entraîner les dérives crédibles générées.

V.3.4. Identifier les moyens de détection et de prévention

L'équipe de travail propose des outils et/ou méthode de détection des dérives et détecte les outils et/ou méthodes de préventions déjà existantes.

V.3.5. Émettre des recommandations

L'équipe de travail émet des recommandations d'actions correctives à mettre en œuvre en cas d'apparition de la dérive, ou des recommandations d'actions d'amélioration à mettre en place sur les outils et/ou méthodes de prévention déjà existants.

V.3.6. Rechercher les dérives jusqu'à épuisement des risques

L'équipe de travail génère toutes les dérives crédibles possibles de la ligne/maille jusqu'à épuisement des risques, identifie les causes, conséquences, moyens de détection et de prévention de chaque dérive et émet ses recommandations

L'équipe de travail procède ainsi pour chaque ligne/maille de chaque nœud identifié. Afin de faciliter la lecture et l'enregistrement des informations, les résultats de cette analyse sont généralement repris sous la forme d'un tableau.

V.4. Limites de la méthode

Cette méthode est basée sur l'expérience et peut donc plus difficilement être réalisée sur un nouveau système. Par ailleurs, HAZOP ne proposera qu'une analyse simple des dérives potentielles et trouvera ses limites dans la combinaison simultanée de plusieurs dérives. De la même manière, il sera dans certains cas difficile d'établir une liste exhaustive des causes de dérives potentielles, notamment dans les systèmes transverses où les causes d'une dérive seront liées aux conséquences de l'apparition d'une autre

V.5. Variantes de la méthode

Basée sur le même fonctionnement que la méthode HAZOP, la méthode WHAT IF en est une des variantes connues. Sa différence réside dans le fait qu'à la place d'associer des mots-clés à des paramètres, on y associe la question conditionnelle : Que se passe-t-il si ? (Ex. Que se passe-t-il si tel paramètre change ?) Plus rapide, cette méthode requiert néanmoins une

connaissance plus approfondie et experte de l'équipe de travail qui devra se baser sur son appréciation et son expérience du système pour évaluer les risques.

Partie II
APPLICATION
DE LA METHODE HAZOP

Partie II
APPLICATION
DE LA METHODE HAZOP

V.6. Déroulement d'une session

La question n'est pas de savoir si une déviation est plausible ou non mais d'abord de savoir Quelles en sont les conséquences

V.6.1. Choix de la ligne ou l'équipement étudié

- Définition de la fonction de base
- Description succincte du fonctionnement

V.6.2. Choix du premier paramètre à analyser

- Débit
- Pression
- Température
- Niveau
- Concentration

V.6.3. Choix du premier mot guide à appliquer

Mot guide	Déviatiion	Causes possibles	Conséquences	Action required
none	No flow : <i>Pas de débit</i>			
more	More flow : <i>plus de débit</i>			
//	More pressure: <i>plus de pression</i>			
//	More : <i>température</i>			
Less of	Less flow : <i>moins flux</i>			
//	Less temperature : <i>moins de température</i>			
Part of	High water concentration or Stream: <i>Une concentration élevée de l'eau ou courant</i>			
More than	Organic acide presence :			

plus que	<i>Présence d'acide organique</i>			
Other	Maintenance : maintenance			

Tableau .V.1. Tableau des mots guides

V.6.4. Enchaînement de la méthode

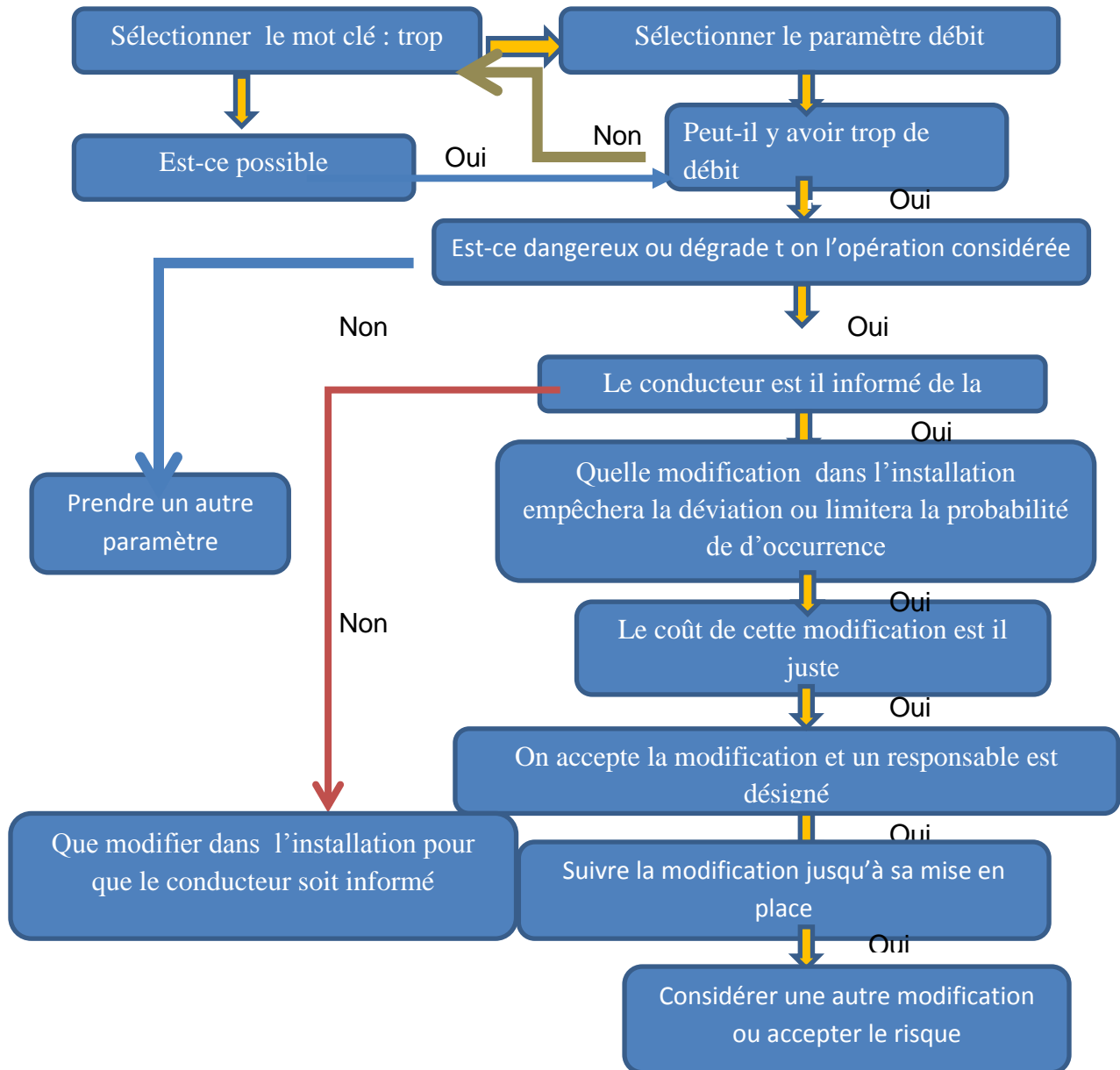


Figure .V.1. Enchaînement de la méthode HAZOP

V.6.5. Bulletin HazOp

Feuille d'enregistrement

PROJET :		FEUILLE DE TRAVAIL			REUNION n° :		PAGE /		
PLAN REFERENCE :		« HAZOP »			SECRETAIRE :				
LIGNE / OPERATION :		LIGNE n° :			DE :		A :		
FONCTION :		PRESSION :			TEMPERATURE :		AUTRES :		
Mot-guide	Déviaton	n°	Causes possibles	Conséquences	Détection	Action demandée	n°	Par	Suivi

Tableau .V.2. Un modèle de bulletin d’HAZOP

V.7. Scénarios Des Accidents Potentiels Dans L'unité Ammonic

Evénements non souhaité (ENS)	• Causes	• Evénements initiateurs	• Protection et recommandation
<p><u>Incendie au niveau du circuit de gaz naturel</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuites de gaz • Evolution des fuites et éclatement de joints par laminage sur bride. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement de joint sur le circuit gaz naturel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de joints appropriés. • Contrôle permanent de l'étanchéité, dispositif de fermeture et soupapes. • Respect des couples de serrage conformément aux normes. • Contrôle des fuites de gaz par l'appareillage approprié.
<p><u>Incendie au niveau du circuit gaz de process</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuites de gaz • Evolution des fuites et éclatement de joints par laminage sur bride. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement de joint sur le circuit gaz process. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de joints appropriés. • Contrôle permanent de l'étanchéité, dispositif de fermeture et soupapes • Respect des couples de serrage

			<p>conformément aux normes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle des fuites de gaz par l'appareillage approprié.
<p><u>Incendie au niveau du Reforming secondaire 103-D</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuites de gaz. • Evolution des fuites et éclatement de joints par laminage sur bride. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement de joint sur trou d'homme du reforming secondaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de joints appropriés. • Contrôle permanent de l'étanchéité, dispositif de fermeture et soupapes. • Respect des couples de serrage conformément aux normes. • contrôle des fuites de gaz par l'appareillage approprié.
<p>Explosion</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Surpression. • Température excessive. • Points chauds sur métal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fissure de reforming secondaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Protection intégrée thermocouples PDI et débitmètres. • Veiller au bon fonctionnement du système d'arrosage (débitmètre). • Inspection pendant les arrêts

			<p>programmés.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entretien régulier du revêtement interne. • Contrôler l'état de la peinture thermosensible sur le métal du réacteur. • Contrôle du débit d'eau de refroidissement dans les chemises ou sur le métal extérieur.
<p>Incendie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Surpression • Température excessive. • Points chauds sur métal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fissure du reforming secondaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Protection intégrée thermocouples PDI et débitmètres. • Veiller au bon fonctionnement du système d'arrosage (débitmètre). • Inspection pendant les arrêts programmés. • Entretien régulier du revêtement interne. • Contrôle du débit d'eau de refroidissement

			<p>dans les chemises ou sur le métal extérieur.</p>
<p><u><i>Incendie au niveau du Convertisseurs 104-D/105-D</i></u></p>	<ul style="list-style-type: none"> Fuite de gaz évolution des fuites et éclatement de joints par laminage sur bride. 	<p>Eclatement de joint sur convertisseurs haute et basse températures.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Sécurité intégrée ES 109. Utilisation de joints appropriés. Contrôle permanent de l'étanchéité, dispositif de fermeture et soupapes. Respect des couples de serrage conformément aux normes. Contrôle des fuites de gaz par l'appareillage approprié.
<p><u><i>Incendie au niveau du Réacteur de désulfuration 102-D</i></u></p>	<ul style="list-style-type: none"> Fuites de gaz. Evolution des fuites et éclatement de joints par laminage sur bride. 	<ul style="list-style-type: none"> Eclatement de joint sur réacteur de désulfuration. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de joints appropriés. Contrôle permanent de l'étanchéité, dispositif de fermeture et soupapes. Respect des couples de serrage conformément aux normes. Contrôle des fuites

			de gaz par l'appareillage approprié.
<p><u>Incendie au niveau du Circuit gaz, synthèse</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuites de gaz. • Evolution des fuites et éclatement de joints par laminage sur bride. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement de joint sur le circuit gaz synthèse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de joints appropriés. • Contrôle permanent de l'étanchéité, dispositif de fermeture et soupapes. • Respect des couples de serrage conformément aux normes. • Contrôle des fuites de gaz par l'appareillage approprié.
<p><u>Incendie au niveau du Réacteur de synthèse</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuites de gaz. • Evolution des fuites et éclatement de joints par laminage sur bride. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement de joint sur réacteur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de joints appropriés contrôle permanent de l'étanchéité, dispositif de fermeture et soupapes. • Respect des couples de serrage conformément aux normes. • Contrôle des fuites de gaz par

			l'appareillage approprié.
<p><u>Explosion au niveau du Four reforming primaire 101-B</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue de métal (contraintes thermiques). • Dilatation excessive des tubes par les flammes de la zone de radiation. • Mauvais chargement du catalyseur. • Chauffe déséquilibrée. • Erosion du métal. • Fuite de gaz process à l'intérieur du four (mélange détonant). • Extinction accidentelle des brûleurs. • Mauvais tirage des gaz de carneaux, • Erosion du métal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement d'un tube catalytique du reforming primaire. • Explosion de la chambre de combustion du reforming primaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle des températures des tubes catalytiques au moyen d'un pyromètre optique. • Comparer les relevés de dilatation des tubes au graphe de dilatation maximum fourni par le constructeur. • Contrôle visuel de joints sur tubes. • S'assurer du bon fonctionnement du steam cracking par le taux de CH4 sortie reforming primaire. • Contrôle de la pression différentielle dans tubes catalytiques et de la température de sortie du gaz réformé. • Etalonnage du rapport vapeur

			<p>gaz.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédure de démarrage. • Réglage continu du mélange approprié air/fuel au niveau des brûleurs. • Test de vérification des alarmes haute et très haute pression (protection intégrée). • Procédure d'exploitation
<p>Incendie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue de métal (contraintes thermiques). • Dilatation excessive des tubes par les flammes de la zone de radiation. • Fuite de gaz process à l'intérieur du four (mélange détonant). • Extinction accidentelle des brûleurs. • Mauvais tirage des gaz de carneaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement d'un tube catalytique du reforming primaire suivi d'un incendie. • Explosion de la chambre de combustion du reforming primaire suivie d'un incendie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle des températures des tubes catalytiques au moyen d'un pyromètre optique. • Comparer les relevés de dilatation des tubes au graphe de dilatation maximum fourni par le constructeur. • Contrôle visuel de joints sur tubes. • S'assurer du bon

			<p>fonctionnement du steam cracking par le taux de CH4 sortie reforming primaire.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de la pression différentielle dans tubes catalytiques et de la température de sortie du gaz réformé. • Etalonnage du rapport vapeur gaz. • Procédure de démarrage. • Réglage continu du mélange approprié air/fuel au niveau des brûleurs. • Test de vérification des alarmes haute et très haute pression (protection intégrée). • Procédure d'exploitation.
<p><u>Incendie au niveau du Compresseur de</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dysfonctionnement de l'instrumentation. • Mauvaise lubrification 	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrations et désalignement axiaux des 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée boutons d'arrêt d'urgence des

<p><u><i>gaz</i></u> <u><i>d'alimentation</i></u> <u><i>102-J</i></u></p>	<p> systèmes en rotation.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-conformité des huiles utilisées. • Fermeture par erreur de vanne (aspiration et refoulement). 	<p>turbocompresseurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Températures excessives des paliers et butées machines. 	<p>machines, les déclencheurs par survitesses, de vibration de déplacements axiaux corps BP et HP turbine et compresseurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée ES, HXA, HHLS. • Vérification des pompes de reprise d'huile par LPA et LLA. • Respect de la procédure et supervision.
<p><u><i>Explosion au niveau de la Chaudière auxiliaire 105-B</i></u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue du métal. • Corrosion par chlorures. • Manque d'eau dans les ballons de vapeur. • Surchauffe excessive. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement d'un tube de faisceau de la chaudière auxiliaire sur système vapeur. <ul style="list-style-type: none"> • Perte en eau déminéralisée au désaérateur 101-U à la suite d'une panne de pompes de transfert ou d'unité de traitement d'eau. • Colmatage de filtres aux aspirations de pompes à eau d'alimentation des chaudières. <ul style="list-style-type: none"> • Vanne de 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée : niveau très bas dans le ballon. • S'assurer des instruments de contrôle du ballon (débit, niveau). • Respect de contrôles réglementaires des appareils sous pression (épreuve et ré épreuve). • Sécurité intégrée PRC a-171.

		<p>sectionnement fermée dans la ligne principale de refoulement.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Panne de régulation automatique de niveau au ballon à vapeur. • Panne du compresseur de gaz de synthèse 103-J. 	
Incendie	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue du métal. • Corrosion par chlorures. • Manque d'eau dans les ballons de vapeur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement d'un tube de faisceau de la chaudière auxiliaire sur système vapeur HP 100 bars, suivi d'un incendie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée : niveau très bas dans le ballon. • S'assurer des instruments de contrôle du ballon (débit, niveau). • Respect de contrôle réglementaire des appareils sous pression (épreuve et ré épreuve).
<u>Explosion et incendie au niveau de la Chaudières de récupération 101-C/102-C</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue du métal. • Corrosion par chlorures. • Manque d'eau dans les ballons de vapeur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclatement d'un tube de faisceau de la chaudière auxiliaire sur système vapeur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse des eaux de la chaudière. • Conditionnement de l'eau convenablement.
<u>Explosion et incendie au niveau du</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Surpression. • Température excessive. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fissure des convertisseurs de monoxyde de 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée contrôlant les températures des

<p><u>Convertisseur de monoxyde de carbone 104-D</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Points chauds sur métal. 	<p>carbone.</p>	<p>lits catalytiques des thermocouples PDI.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vannes de commandes motorisées. • Soupapes de sécurité. • Respecter la périodicité de tests des équipements (épreuves, réépreuves).
<p><u>Explosion au niveau du Methanateur 106-D</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuites de gaz H₂/CO/NI(CO) 4. • Points chauds sur métal. • Augmentation de température dans le méthaniseur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fissure des convertisseurs de monoxyde de carbone. • Déclenchement de la section basse au niveau du convertisseur. • Avec une teneur très élevée de CO vers le méthaniseur. • Concentration excessive des oxydes de carbone dans l'alimentation du méthaniseur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée ES-110. • ES-110 ferme la boucle de synthèse. • PRC a- 103 réduits la vitesse du compresseur. • HTIA 109 et 110 ferment la vanne V103 à l'entrée et la vanne de sectionnement motorisée à l'entrée SP-8 ES-111 arrête l'alimentation de la boucle de synthèse en fermant les vannes SP-4 et SP-5.

			<ul style="list-style-type: none"> • Respecter la procédure d'arrêt et de déclenchement de méthaneur.
Incendie	<ul style="list-style-type: none"> • Fuites de gaz H₂/CO/NI(CO) 4. • Points chauds sur métal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fissure des convertisseurs de monoxyde de carbone. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée ES-110. • ES-110 ferme la boucle de synthèse PRC a-103 réduit la vitesse du compresseur. • HTIA 109 et 110 ferment la vanne V103 à l'entrée et la vanne de sectionnement motorisée à l'entrée SP-8. • ES-111 arrête l'alimentation de la boucle de synthèse en fermant les vannes SP-4 et SP-5. • Respecter la procédure d'arrêt et de déclenchement de méthaneur.
<u>Explosion, incendie et fuite d'ammoniac au niveau du</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Température excessive. • Points chauds sur métal. • Fatigue du métal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fissure des réacteurs de synthèse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée des thermocouples PDI. • Vanne trempe

<p><u>Réacteur d'ammoniac 105-D</u></p>			<p>pour refroidir les lits catalytiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Veiller au respect des tests d'épreuve des réacteurs et contrôler les épaisseurs.
<p><u>Fuite d'ammoniac au niveau du Ballon d'ammoniac 107-F</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Températures excessives. • Surpression. • Corrosion. • Chocs thermiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fissure de ballons et ou des conduites connexes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée : soupape de sécurité. • Etalonnage et test des organes de sécurité et de sectionnement installés sur les capacités. • Respecter la périodicité des tests et épreuves réglementaires.
<p><u>Fuites d'ammoniac au niveau du Compresseur de réfrigération 105-J</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Détérioration des boites étanches. • Vannes automatiques de la tour de flashes actionnés rapidement. • Fluctuations de niveau dans la tour flash. 	<ul style="list-style-type: none"> • Remplissage d'un corps de compresseur de réfrigération par de l'ammoniac. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité intégrée LCV et LIC.

Conclusion

Vu le rôle important des pompes centrifuge dans l'unité ammoniac de l'entreprise FERTIAL, certes la maintenance nous a permis de mettre en place des mesures pour mieux les entretenir et les exploiter.

L'évaluation des risques a permis de faire la lumière et faire ressortir méthodiquement les différents risques présents à l'unité ammoniac, cette démarche est loin d'être une finalité, mais le point de départ de la mise en place d'une stratégie efficace afin d'éviter la menace.

Une série de mesures s'impose pour prévenir ou réduire tout événement non-souhaité, en commençant par la mise au point d'un système de sécurité, cette dernière étant une composante incontournable du fonctionnement de l'unité.

La responsabilité de la sécurité repose en fin de compte entre les mains de la direction de l'entreprise et de ses unités fonctionnelles.

La nouvelle culture de sécurité dans l'unité insiste sur la planification des expériences, ce qui inclut une attention régulière à l'évaluation des risques et à la considération des dangers pour les autres et pour soi-même. Chaque employé de l'unité doit être informé des dangers potentiels et doit les réduire autant que possible.

Mot-Guide	Déviation	Causes Possibles	Conséquences	Détection	Action Demandée
Débit	Pas De	Réservoir De A Vide Pompe En Panne Vanne Fermée	Pas De Dans Le Réacteur Explosion Possible		
	Trop De	Pompe Fonctionne Mal			
	Pas Assez	Tuyau Partiel. Bouche Pompe Endommagée Vanne Partiel. Fermée	Assez De Explosion Possible		

Liste des figures

Numéro de la figure	Titre	Page
1	Figure .II.1. Différents composants d'une pompe centrifuge	Page 11
2	Figure .II.2. Vue perspective de la pompe centrifuge	Page 13
3	Figure .II.3. Vue de coupe d'une pompe centrifuge	Page 13
4	Figure III.1. Plaque de poussée ayant subi une usure due à l'aération du fluide	Page 26
5	Figure III.2. Dommages causés par la présence de contaminants solides	Page 27
6	Figure III. 3. Défaillance causée par une température excessive	Page 28
7	Figure .IV.1 : différents phases de la gestion du risque	Page 52
8	Figure .IV.2. Démarche de fonctionnement de l'APR contenant le modèle implicite de l'accident	Page 56
9	Figure .IV.3. Démarche de fonctionnement d'une AMDE AMDEC	Page 57

10	Figure .IV.4.Exemple d'une grille de criticité dans le cadre d'une AMDEC	Page 58
11	Figure .IV.5. Schématisation de l'élaboration de l'arbre des causes *cause INS causes immédiates nécessaires et suffisantes	Page 59
12	Figure .IV.6. Principe d'un arbre d'événement	Page 61
13	Figure .IV.7.Etapes de l'élaboration du diagramme causes- conséquences et outils pouvant y être associées éventuellement	Page 62
14	Figure. IV.8.Structure d'un diagramme causes conséquences	Page 63
15	Figure .IV.9. Modèle d'accident selon P. Périlhon : MADS [PERILHON 2000	Page 64
16	Figure .V.1. Enchaînement de la méthode HAZOP	Page 75

Liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre	Page
1	Tableau .I.1. Liste des produits fabriqués ou vendus par FERTIAL	Page 4
2	Tableau .I.2 . Production De L'entreprise	Page 7
3	Tableau .II.1. Organes de la pompe	Page 14
4	Tableau .II.2 indications chiffrées en ordres de grandeurs (nombre de Brauer)	Page 17
5	Tableau .II.3. Comparaison de base pompes centrifuges et pompes volumétriques	Page 20
6	Tableau du diagnostic de panne des pompes hydrauliques volumétrique	Page 30
7	Tableau du diagnostic de panne des pompes hydrauliques non volumétrique	Page 34
8	Tableau du Diagnostic de panne des moteurs hydrauliques	Page 37
9	Tableau de l'historique des pannes	Page 40

10	Tableau d'application de la loi de Weibull	Page 41
11	Tableau .V.1. Tableau des mots guides	Page 74
12	Tableau .V.2. Un modèle de bulletin d'HAZOP	Page 76
13	Scénarios des accidents potentiels dans l'unité ammoniac	Page 77

Liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre	Page
1	Tableau .I.1. Liste des produits fabriqués ou vendus par FERTIAL	Page 4
2	Tableau .I.2 . Production De L'entreprise	Page 7
3	Tableau .II.1. Organes de la pompe	Page 14
4	Tableau .II.2 indications chiffrées en ordres de grandeurs (nombre de Brauer)	Page 17
5	Tableau .II.3. Comparaison de base pompes centrifuges et pompes volumétriques	Page 20
6	Tableau du diagnostic de panne des pompes hydrauliques volumétrique	Page 30
7	Tableau du diagnostic de panne des pompes hydrauliques non volumétrique	Page 34
8	Tableau du Diagnostic de panne des moteurs hydrauliques	Page 37
9	Tableau de l'historique des pannes	Page 40

10	Tableau d'application de la loi de Weibull	Page 41
11	Tableau .V.1. Tableau des mots guides	Page 74
12	Tableau .V.2. Un modèle de bulletin d'HAZOP	Page 76
13	Scénarios des accidents potentiels dans l'unité ammoniac	Page 77

Bibliographie

- *Cours de maintenance.*
- *Cours de Maintenance basée sur la fiabilité (MBF).*
- *Fascicule n°2 (La maintenance) institut français de pétrole.*
- *Fascicule n°11 (Les machines tournantes institut français de pétrole.*
- *Documentation FERTIAL.*
- *Etude des paramètres F.M.D de la pompe centrifuge NP 1073 au niveau de l'unité acide nitrique « FERTIAL » (2006)*
- <http://www.envirobf.org>
- <http://fr.wikipedia.org>
- <http://www.guide-formation.ma>
- <http://www.mecaflux.com>
- <http://fr.wikipedia.org>
- www.maxicours.fr