

Département
MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel
Spécialité : Ingénierie de la maintenance en instrumentation

Thème

**Maintenance des systèmes d'instrumentation dans
les environnements hostiles**

Présenté et soutenu publiquement par :

KHALDI Mohamed Abderrahmane

IMAM Walid

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Y.BOUIZEM	MAB	IMSI	Président
R.HAIMOUR	MAA	IMSI	Encadreur
K.BELAHMRI	MAA	IMSI	Examineur

Année 2023/2024

REMERCIEMENT

Nous remercions Allah tout puissant qui nous a donné la force et la volonté pour Pouvoir finir ce mémoire de fin d'études.

Nous voudrions aussi à exprimer notre gratitude à notre directrice de mémoire Dr. Haimour Rachida pour la confiance, les encouragements, les précieux conseils qu'elle nous a accordés durant ce travail.

Nous voudrions à remercier vivement Mr Ouahiani Abdessamad Ingénieur instrumentation dans GP1Z et Mr Mankouri Mohamed ingénieur instrumentation en SCIBS pour avoir contribué à la formulation du thème, son assistance son accueil, et le partage de son expérience durant la durée du stage.

Nous remercions profondément la famille pour le soutien morale, sans oublier aussi Les amis pour les encouragements et pour le temps agréable que nous avons passé ensemble

Finalement nous voudrions remercier, les membres du jury qui nous ont fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail

Dédicace

nous dédions cette Mémoire à nos parents

Sommaire

Introduction.....	1
1- Etat de l’art	3
1.1-Définition des environnements industriels hostiles.....	3
1.2 Caractéristiques :.....	4
1.2 - Les systèmes d’instrumentation :	7
1.3 Composants clés d'un système d'instrumentation	7
1.3 - Importance de la maintenance des systèmes d'instrumentation.....	9
1.4 - Les principaux défis et contraintes dans la maintenance des systèmes d'instrumentation dans les environnements hostiles.....	10
1.5 Stratégies pour Répondre aux Défis	13
2. Analyse des besoins	15
2.1 Identification des besoins spécifiques en matière de maintenance dans les environnements hostiles	16
2.2 les exigences techniques des systèmes d'instrumentation.....	17
2.3 Analyse des risques industriels dans ces environnements	18
 3. Conception et développement.....	 27
3.1 Choix des technologies et des méthodes de maintenance adaptées aux environnements hostiles	28
3.1.3 Le rôle des analyses des risques dans l’optimisation des priorités de maintenance	30
3.2. Intégration de solutions de surveillance et de diagnostic à distance	34
3.2.1 Problématique :	34
3.2.3 Assurer les fonctions essentielles.....	35
3.2.4 Les avantages des systèmes numériques pour la fonction maintenance	37
 4. Mise en œuvre.....	 40
4.1 Elaboration d’un plan de lancement de la maintenance :.....	41

4.1.1 L'initiation du travail.....	41
4.1.2 L'ordre de travail (OT).....	41
4.1.3 Les procédures de sécurité.....	42
4.1.4 Les hommes de maintenance et leur formation	46
 5 Etude de cas	 50
5.1 Introduction.....	51
5.2 Contexte de l'étude de cas.....	51
5.3 Description générale :.....	51
5.4 Présentation générale des activités de GP1Z :.....	53
5.5 Description rapide du processus de liquéfaction:	54
5.6 Les caractéristiques principaux qui rendent le complexe GP1Z un environnement industriel dangereux :.....	54
5.8 Risques liés aux produits :.....	55
5.9 L'Instrumentation Industrielle Utilisée dans le complexe :	55
5.10 Architecture de contrôle et de commande	57
5.11 Adaptation du matériel aux conditions d'environnement	58
5.12 Interface homme machine	59
5.13 La maintenance dans GP1Z	59
5.14 Intégration des éléments important pour la sécurité dans des chaines de sécurité automatiques	69
Règles de sécurité spécifiques au domaine de l'instrumentation dans les installations de l'industrie des d'hydrocarbures.....	80
Conclusion	80

Liste des figures

Figure 1.1:industrie chimique.....	5
Figure 1.2Industrie pétrolière	5
Figure 1.3:Industrie minière	6
Figure 1.4:Industrie nucléaire.....	6
Figure 1.5:transmetteur de pression absolue (PT)	7
Figure 1.6:exemple d'une IHM	8
Figure 1.7:Vanne régulatrice avec un positionneur électropneumatique	8
Figure 2.1:méthode d'analyse du risque	20
Figure 2.2:déroulement de la méthode d'analyse HAZOP	22
Figure 3.1:Diagramme de la méthodologie MBR	Error! Bookmark not defined.
Figure 3.2:exemple de système de contrôle centralisé industriel (SNCC).....	35
Figure 5.1 situation géographique du complexe	50
Figure 5.2:Interface homme machine	59
Figure 5.3: chaîne de sécurité automatique	69
Figure 5.4:chaîne de sécurité avec intervention humaine	69
Figure 5.5: composants ESD	70
Figure 5.6:exemple de boucle de sécurité	73

Lise des tableaux

Tableau 2.1:: Exemple de tableau d'analyse par la méthode HAZOP	23
Tableau 2.2:Tableau d'analyse APR.....	26
Tableau 5.1 :Tableau d'analyse APR de la sphère de stockage produit	63
Tableau 5.2 :Scénarios des phénomènes dangereux	65
Tableau 5.3 :Tableau de Récapitulatif des mesures d'améliorations identifiées lors de l'évaluation préliminaire des risques.....	66
Tableau 5.4:explicatif d'échelle de gravité	67
Tableau 5.5 : Tableau explicatif d'échelle de probabilité	65
Tableau 5.6 : Rappel sur les sections GP1Z	66
Tableau 5.7 : Matrice gravité.....	66
Tableau 5.8 : fiche description de l'élément.....	75
Tableau 5.9 fiche de description des tests capteur	76
Tableau 5.10 fiche de description des tests	77

Abréviations :

PT : transmetteur de pression

API : automate programmable industrielle

DCS : système de contrôle distribué

HMI : interface homme machine

EPI : équipements de protection individuelle

GMAO : gestion de la maintenance assistée par ordinateur

EMI : Immunité aux Interférences Électromagnétiques

APR : l'analyse préliminaire des risques

HAZOP : Hazard and Operability Study

ICI : Imperial Chemical Industries

UCI : Union des Industries Chimiques

MBR : maintenance basée sur risque

SNCC : système numérique de contrôle commande

DI : demande intervention

OT : ordre de travail

AT : autorisation de travail

GP1Z : gaz pétrolière

CO : Monoxyde de carbone

RTD : Resistance Temperature Detectors

ESD : Emergency shut down

P&ID : piping and instrumentation diagram

TI : technique inspection

EPIS : element important pour la sécurité

MMR : Mesures de Maîtrise des Risques

CPU : Central Processing Unit

LAHH : level alarm heigh heigh

LSHH : level switch heigh heigh

FLS : flow switch low

HP : heigh pressure

TOR : tout ou rien

Introduction :

Ce travail sur la maintenance des systèmes d'instrumentation dans les environnements hostiles vise à présenter l'importance de cette activité pour assurer la fiabilité et le bon fonctionnement des systèmes d'instrumentation utilisés dans des conditions difficiles. En effet, les environnements hostiles tels que les zones industrielles dangereuses, les sites offshore ou les installations nucléaires présentent des défis particuliers pour la maintenance des systèmes d'instrumentation, notamment en termes de résistance aux conditions extrêmes et de sécurité. Cette introduction abordera donc les risques associés aux environnements hostiles, mettra en évidence la nécessité d'une maintenance adéquate et soulignera l'importance d'un suivi et d'une amélioration continue pour garantir des performances optimales.

Le contexte de la maintenance des systèmes d'instrumentation dans les environnements hostiles comprend la prise en compte des contraintes uniques de ces environnements, tels que les températures extrêmes, les vibrations et la corrosion. Il met en évidence la nécessité de méthodes de maintenance adaptées et de technologies avancées pour garantir la fiabilité et la durabilité des équipements.

Objectifs du projet

La maîtrise des risques et l'optimisation des systèmes d'instrumentation dans les environnements hostiles

Méthodologie de travail

Dans le premier chapitre nous commençant par une présentation des environnements industriels hostiles avec ces caractéristiques pour aborder ensuite une introduction vers les systèmes d'instrumentation

Avec l'importance de la maintenance de ces systèmes et en même temps nous citons les principaux défis et contraintes de la maintenance des systèmes d'instrumentation dans ces environnements et finalement les solutions existants pour réduire les risques associée à cette maintenance

Le deuxième chapitre intitulé « analyse des besoins » nous avons débuté par une identification des besoins spécifique en matière de la maintenance des systèmes d'instrumentation dans les environnements hostiles, nous abordons ensuite une étude des exigences technique et opérationnelles des systèmes d'instrumentation exploité dans ces environnements dangereux ensuite l'analyse des risques liés à l'exploitation et la maintenance de ces systèmes dans ces environnements par les méthodes APR et HAZOP qui sont les plus utilisés dans les industries dangereuse

Ensuite le troisièmes chapitre vise à choisir une technologie de maintenance adapté pour les environnements industriels dangereux après on trouve l'intégration de la surveillance numériques des équipements comme un élément essentiel pour les processus de ces industries dangereuse

Dans le quatrième chapitre, une explication du planning du lancement des actions de maintenance et au même temps la formation du personnel chargé à la maintenance

Le cinquième chapitre est consacré à une application industrielle de l'étude sur le complexe GP1Z qui a fait l'objet de notre étude de cas :

- Caractéristiques qui rend le complexe GP1Z un environnement hostile
- Analyse des risques potentiels du complexe GP1Z
- Intégration de l'instrumentation de sécurité selon les Analyses des risques
- Maintenance d'instrumentation de sécurité selon des règles spécifiques

1- Etat de l'art

1.1-Définition des environnements industriels hostiles

Un environnement industriel hostile peut inclure des situations où les travailleurs sont exposés à des risques physiques, chimiques, ou psychologiques, ce qui les rend difficilement capables de travailler

efficacement. Il peut également inclure des situations où les travailleurs sont soumis à des conditions climatiques extrêmes, des vibrations, des impacts, des bruits électriques, ou des rayonnements, qui peuvent affecter leur santé et leur bien-être.

1.2 Caractéristiques :

- Risques physiques

-Travaux en hauteur : les travailleurs sont exposés à des risques de chutes ou de blessures graves.

-Travaux en caisson hyperbare : les travailleurs sont soumis à des pressions élevées et des risques graves

-Travaux à proximité de fours : les travailleurs sont exposés à des risques de brûlures graves et de blessures physiques.

-Travaux dans des conditions climatiques extrêmes : les travailleurs sont soumis à des températures élevées ou basses, des humidités élevées, des vents forts, etc., qui peuvent affecter leur santé et leur bien-être.

- Risques chimiques :

-Utilisation de produits chimiques dangereux : les travailleurs sont exposés à des risques de blessures graves ou mortelles en cas d'exposition à des produits chimiques corrosifs, toxiques, ou explosifs.

-Risques de dégagement de gaz létaux : les travailleurs sont exposés à des risques de blessures graves ou mortelles en cas d'exposition à des gaz dangereux.

-Risques de dispersions de particules dangereuses : les travailleurs sont exposés à des risques de blessures graves ou mortelles en cas d'exposition à des particules dangereuses.

- Risques psychologiques :

-Travaux pénibles et stressants : les travailleurs sont soumis à des conditions de travail difficiles et stressantes, ce qui peut affecter leur santé mentale.

- Risques de pénibilité physique et psychologique :

les travailleurs sont soumis à des conditions de travail pénibles et stressantes, ce qui peut affecter leur santé et leur bien-être.[1]

-Voici quelques exemples des industries qui contiennent des environnements hostiles :

Industrie chimique : L'industrie chimique implique la fabrication, la manipulation et la transformation de substances chimiques diverses, telles que les produits pharmaceutiques, les produits chimiques industriels, les solvants, les plastiques, etc. Les risques comprennent l'exposition aux produits chimiques toxiques, les réactions chimiques incontrôlées, les incendies et les explosions. Un exemple notable est l'explosion de l'usine chimique de Bhopal en 1984, une ville du centre de l'Inde qui a entraîné 3800 morts et 360 victimes et des dommages environnementaux considérables.



Figure 1:industrie chimique

-Industrie pétrolière et gazière : Cette industrie englobe l'extraction, le raffinage, le transport et la distribution du pétrole et du gaz naturel. Les dangers incluent les explosions, les incendies, les fuites de gaz toxiques, les accidents de forage et les déversements de pétrole en mer. Un exemple marquant est la marée noire de Deepwater Horizon en 2010 dans le golfe du Mexique, qui a provoqué l'une des pires catastrophes environnementales de l'histoire moderne.



Figure 1.2 :Industrie pétrolière

-Industrie minière : L'industrie minière implique l'extraction de minéraux, de métaux et de matériaux précieux tels que le charbon, le fer, l'or et le cuivre. Les risques comprennent les effondrements de mines, les explosions de gaz, les glissements de terrain, les accidents liés à l'utilisation de machines lourdes, et l'exposition à des particules nocives et à des gaz toxiques. Un exemple notable est l'accident de la mine de Soma en Turquie en 2014, où une explosion a causé la mort de 301 mineurs.



Figure 1.3: Industrie minière

-Industrie de la construction : Cette industrie comprend la construction de bâtiments, d'infrastructures, de routes, de ponts et d'autres structures. Les risques pour les travailleurs comprennent les chutes de hauteur, les accidents liés aux machines et aux équipements, les risques électriques, les dangers liés aux matériaux de construction, et les conditions environnementales extrêmes. Un exemple célèbre est l'accident du pont de Tacoma Narrows en 1940 aux États-Unis, où le pont s'est effondré en raison de vibrations induites par le vent.

-Industrie nucléaire : Cette industrie comprend la production d'énergie nucléaire, le traitement des déchets radioactifs, la recherche en physique nucléaire, et la fabrication de matériaux radioactifs. Les risques comprennent les fuites radioactives, les contaminations, les radiations ionisantes, et les accidents nucléaires. L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 en Ukraine est un exemple tragique de catastrophe nucléaire majeure, ayant entraîné des décès et des conséquences environnementales durables.



Figure 1.4: Industrie nucléaire

Ces exemples illustrent la complexité et les défis inhérents aux industries dangereuses, ainsi que la nécessité de mesures de sécurité et de réglementations rigoureuses pour protéger la santé et la sécurité des travailleurs, ainsi que l'environnement, et même ces industries nécessitent une bonne exploitation et une bonne maintenance quel que soit préventif ou correctif

1.2 - Les systèmes d'instrumentation :

Les systèmes d'instrumentation sont des ensembles de dispositifs et de technologies utilisés pour mesurer, surveiller et contrôler des variables physiques ou chimiques dans divers environnements industriels et de recherche. Ils jouent un rôle crucial dans les processus de fabrication, les essais scientifiques, la gestion de l'environnement, et bien d'autres domaines. Voici une définition détaillée et les composants clés d'un système d'instrumentation :

Un système d'instrumentation est un réseau intégré d'instruments et d'équipements utilisés pour collecter, transmettre, analyser et afficher des données provenant de différents capteurs et transducteurs. Ces systèmes sont conçus pour effectuer des mesures précises et fiables de diverses grandeurs physiques (comme la température, la pression, le débit, etc.) ou chimiques (comme le pH, la concentration de gaz, etc.), permettant ainsi de surveiller et de contrôler les processus en temps réel.

1.3 Composants clés d'un système d'instrumentation

-Capteurs : Dispositifs qui détectent les variations dans les conditions physiques ou chimiques et produisent des signaux proportionnels à ces variations. Par exemple, des thermocouples pour mesurer la température ou des capteurs de pression.

-Transmetteurs : ils convertissent le signal reçu par les capteurs à un signal électrique exploitable et ils transmettent ce signal vers l'automate



Figure 1.5:transmetteur de pression absolue (PT)

-Remarque : En industrie actuelle on trouve le capteur et le transmetteur en un seul instrument

-Systèmes de Contrôle:

Utilisent les données des capteurs pour réguler les processus à l'aide de contrôleurs, tels que les automates programmables industriels (API) ou les systèmes de contrôle distribué (DCS). Les actions correctives peuvent inclure le réglage de vannes, la modification de paramètres de fonctionnement, etc.

Interface Homme-Machine (IHM):

Des dispositifs et des logiciels qui permettent aux opérateurs de surveiller les données en temps réel, de visualiser les tendances historiques, et de contrôler les paramètres du système. Les IHM comprennent des écrans tactiles, des panneaux de commande, et des interfaces logicielles.



Figure 1.6:Figure I.6 exemple d'une IHM

Systèmes de Communication:

- Protocoles et réseaux utilisés pour transmettre les données entre les différents composants du système d'instrumentation. Ils incluent les réseaux Ethernet, les bus de terrain (comme Modbus, Profibus), et les réseaux sans fil.

- Les actionneurs :

En instrumentation, les actionneurs jouent un rôle crucial dans les systèmes de contrôle et d'automatisation. Un actionneur est un dispositif qui convertit une commande électrique ou pneumatique en mouvement physique ou en force. Voici quelques exemples d'actionneurs utilisés en instrumentation :

- Moteur électrique, vérin hydraulique, vanne,



Figure 1.7:Vanne régulatrice avec un positionneur électropneumatique

1.3 - Importance de la maintenance des systèmes d'instrumentation

La maintenance des systèmes d'instrumentation est une composante essentielle de la gestion industrielle moderne. Les systèmes d'instrumentation jouent un rôle crucial dans le contrôle, la surveillance et l'optimisation des processus industriels. Ils fournissent des données en temps réel, assurent la sécurité, et aident à maintenir les opérations efficaces et économiques. Voici une exploration détaillée de l'importance de la maintenance des systèmes d'instrumentation.

➤ Garantir la Précision et la Fiabilité

Les systèmes d'instrumentation sont utilisés pour mesurer des variables critiques telles que la pression, la température, le débit, et le niveau. La précision de ces mesures est fondamentale pour le contrôle et l'optimisation des processus. Une maintenance régulière assure que les instruments restent calibrés et fonctionnent correctement, ce qui est vital pour obtenir des données fiables. Des capteurs mal entretenus peuvent fournir des données inexactes, entraînant des décisions erronées qui peuvent affecter la qualité du produit et l'efficacité du processus.

➤ Améliorer la Sécurité

Dans les environnements industriels, la sécurité est une priorité absolue. Les systèmes d'instrumentation jouent un rôle clé dans la surveillance des conditions dangereuses et la prévention des incidents. Par exemple, des détecteurs de gaz peuvent avertir de la présence de substances toxiques ou inflammables, tandis que des systèmes de contrôle de pression peuvent prévenir les explosions en cas de surpression. Une maintenance régulière assure que ces systèmes fonctionnent correctement, réduisant ainsi le risque d'accidents et protégeant les travailleurs et les installations.

➤ Optimiser la Performance des Processus

L'efficacité opérationnelle est un objectif majeur pour toute entreprise industrielle. Les systèmes d'instrumentation fournissent des données essentielles pour le contrôle des processus et l'optimisation des performances. Une maintenance adéquate permet de garantir que ces systèmes fonctionnent à leur plein potentiel, minimisant les interruptions et maximisant la productivité. Les instruments bien entretenus contribuent à un fonctionnement plus fluide des machines et des processus, permettant une production plus efficace et une réduction des coûts.

➤ Réduire les Coûts de Maintenance et de Réparation

La maintenance préventive des systèmes d'instrumentation peut réduire de manière significative les coûts à long terme. En identifiant et en résolvant les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent graves, les entreprises peuvent éviter des réparations coûteuses et des temps d'arrêt prolongés. Un programme de maintenance bien planifié permet également d'augmenter la durée de vie des équipements, retardant ainsi les investissements en capital pour leur remplacement.

➤ Assurer la Conformité Réglementaire

Les industries sont souvent soumises à des réglementations strictes concernant la sécurité, l'environnement, et la qualité. Les systèmes d'instrumentation jouent un rôle crucial dans la collecte de données nécessaires pour démontrer la conformité à ces réglementations. Une maintenance régulière garantit que les instruments fonctionnent correctement et fournissent des données précises, facilitant ainsi les audits et les inspections. La non-conformité peut entraîner des amendes, des sanctions, et des dommages à la réputation de l'entreprise.

➤ **Soutenir l'Innovation et l'Amélioration Continue**

L'innovation et l'amélioration continue sont essentielles pour rester compétitif dans le secteur industriel. Les systèmes d'instrumentation fournissent les données nécessaires pour analyser les performances des processus et identifier les opportunités d'amélioration. Une maintenance régulière garantit que les données sont précises et fiables, soutenant ainsi les initiatives d'optimisation et de développement de nouveaux processus. De plus, les technologies d'instrumentation évoluent rapidement, et une maintenance régulière permet d'intégrer de nouvelles technologies et d'améliorer continuellement les systèmes existants.

➤ **Renforcer la Résilience et la Durabilité**

La résilience des systèmes d'instrumentation est essentielle pour assurer la continuité des opérations en cas de perturbations. Une maintenance adéquate améliore la résilience des systèmes en identifiant et en résolvant les vulnérabilités avant qu'elles ne causent des pannes. De plus, des systèmes bien entretenus consomment souvent moins d'énergie et de ressources, contribuant ainsi à la durabilité environnementale de l'entreprise.

1.4 - Les principaux défis et contraintes dans la maintenance des systèmes d'instrumentation dans les environnements hostiles

La maintenance des systèmes d'instrumentation dans des environnements hostiles présente une série de défis et de contraintes uniques. Ces défis peuvent avoir un impact significatif sur la performance des systèmes, la sécurité des opérations et les coûts d'exploitation. Voici une explication détaillée des principaux défis et contraintes associés à la maintenance dans ces conditions :

➤ **Conditions Environnementales Extrêmes**

Les températures extrêmes, qu'elles soient très élevées ou très basses, peuvent affecter la performance des systèmes d'instrumentation. Les températures élevées peuvent provoquer la surchauffe des composants électroniques, la dégradation des isolants et des matériaux plastiques, tandis que les températures très basses peuvent entraîner la fragilisation des matériaux et des problèmes de condensation.

Exemple : Dans des environnements comme le désert ou l'Arctique, les équipements doivent être conçus pour fonctionner dans des plages de températures très larges. Les composants doivent être

robustes et souvent, des systèmes de refroidissement ou de chauffage spécialisés sont nécessaires pour maintenir une température opérationnelle adéquate.

➤ **Humidité et Corrosion**

L'humidité élevée et les atmosphères corrosives, comme celles trouvées dans les environnements marins ou chimiques, peuvent entraîner la corrosion des composants métalliques, la dégradation des circuits électroniques et l'intrusion d'eau dans les systèmes sensibles.

Exemple : Les installations offshore doivent utiliser des matériaux résistants à la corrosion, comme l'acier inoxydable ou des revêtements spéciaux, et souvent des systèmes de déshumidification ou des boîtiers étanches pour protéger les instruments.

Poussière et Saleté

Les environnements poussiéreux, tels que les mines ou les zones de construction, peuvent entraîner l'encrassement des composants mécaniques et électriques, provoquant des dysfonctionnements, une usure prématurée et des pannes.

Exemple : Dans les mines, des filtres à air spéciaux et des boîtiers hermétiques sont souvent utilisés pour protéger les équipements des particules de poussière.

➤ **Accès et Accessibilité**

Emplacements Difficiles d'Accès

Les instruments installés dans des endroits reculés ou difficiles d'accès, comme les plateformes offshore, les sites industriels éloignés ou les zones de haute montagne, compliquent les interventions de maintenance régulière et d'urgence.

Exemple : Sur une plateforme pétrolière, accéder aux équipements de surveillance sous-marine nécessite des équipements de plongée spéciaux ou des sous-marins télécommandés, ce qui augmente la complexité et le coût de la maintenance.

➤ **Sécurité**

Les environnements dangereux, tels que les usines chimiques, les raffineries ou les centrales nucléaires, nécessitent des protocoles de sécurité rigoureux. Les techniciens doivent porter des équipements de protection individuelle (EPI) et suivre des procédures de sécurité strictes, augmentant le temps et le coût des interventions de maintenance.

Exemple : Dans une raffinerie de pétrole, les techniciens doivent souvent travailler avec des masques respiratoires, des combinaisons résistantes aux produits chimiques et dans des conditions de confinement, rendant la maintenance plus difficile et plus longue.

➤ **Fiabilité et Disponibilité**

Dans des environnements hostiles, les systèmes d'instrumentation doivent être extrêmement fiables pour minimiser les temps d'arrêt et les interventions de maintenance. La fiabilité est cruciale pour assurer la continuité des opérations et la sécurité.

Exemple : Les instruments utilisés dans les centrales nucléaires doivent avoir une fiabilité extrêmement élevée car les pannes peuvent avoir des conséquences catastrophiques. Cela nécessite l'utilisation de composants de haute qualité et souvent redondants.

➤ **Disponibilité des Pièces de Rechange**

L'accès rapide aux pièces de rechange peut être limité dans des environnements éloignés, ce qui prolonge les temps d'arrêt et impacte la production. Les délais de livraison peuvent être longs et les coûts de transport élevés.

Exemple : Sur une plateforme offshore, il peut falloir plusieurs jours ou semaines pour obtenir des pièces de rechange, ce qui nécessite une gestion proactive des stocks et parfois la fabrication sur place de pièces critiques.

➤ **Technologie et Compatibilité**

Compatibilité des Systèmes

Les systèmes d'instrumentation dans des environnements hostiles doivent souvent être intégrés à des infrastructures existantes. Cela peut poser des problèmes de compatibilité, surtout lorsque des mises à niveau ou des réparations sont nécessaires.

Exemple : La mise à niveau d'un système de contrôle de processus dans une usine chimique peut nécessiter des modifications complexes pour s'assurer que les nouveaux instruments sont compatibles avec les systèmes existants.

➤ **Technologie Avancée**

L'intégration de technologies avancées, telles que les capteurs intelligents, les réseaux sans fil et les systèmes de diagnostic à distance, peut améliorer la maintenance mais nécessite également des compétences spécialisées pour l'installation, l'entretien et la gestion.

Exemple : L'utilisation de capteurs IoT dans une installation industrielle permet la surveillance en temps réel et le diagnostic à distance, réduisant ainsi le besoin de visites sur site. Cependant, cela nécessite une infrastructure de réseau robuste et des techniciens formés à ces nouvelles technologies.

➤ **Compétences et Formation**

Formation des Techniciens

Les techniciens doivent être hautement qualifiés et formés pour travailler dans des environnements hostiles. La formation continue est essentielle pour garantir qu'ils peuvent gérer les défis spécifiques liés à ces conditions et utiliser correctement les équipements spécialisés.

Exemple : Les techniciens travaillant sur des plateformes offshore doivent être formés aux procédures de sécurité maritime, à l'utilisation des équipements de protection contre les explosions et aux premiers secours.

➤ **Équipements Spécialisés**

L'utilisation d'outils et d'équipements spécialisés pour la maintenance peut être nécessaire, augmentant ainsi les coûts et les exigences en matière de formation.

Exemple : La maintenance des instruments dans des environnements explosifs nécessite des outils antidéflagrants et des dispositifs de mesure spécifiques pour éviter tout risque d'explosion.

➤ **Coûts et Budget**

Coûts Élevés

Les interventions de maintenance dans des environnements hostiles peuvent être coûteuses en raison des exigences logistiques, des équipements spécialisés et des primes de risque pour les travailleurs. Les coûts de transport, de sécurité et d'hébergement dans des endroits reculés ou dangereux sont également significatifs.

Exemple : Le coût de maintenance d'une station de surveillance météorologique en Antarctique est extrêmement élevé en raison des frais de transport aérien, de l'équipement spécial pour le froid extrême et des primes de risque pour les techniciens.

➤ **Gestion du Budget**

La gestion efficace du budget de maintenance est cruciale pour assurer la disponibilité des ressources nécessaires et minimiser les impacts financiers des interruptions de production. Cela nécessite une planification rigoureuse et des prévisions précises des besoins en maintenance.

Exemple : Une usine chimique doit allouer un budget suffisant pour la maintenance préventive et prédictive afin d'éviter des pannes coûteuses et imprévues qui pourraient entraîner des arrêts de production prolongés.

1.5 Stratégies pour Répondre aux Défis

➤ **Surveillance et Diagnostic à Distance**

L'utilisation des technologies pour la surveillance et le diagnostic à distance peut réduire le besoin de visites physiques et permettre une maintenance proactive. Les données en temps réel permettent d'anticiper les pannes et d'intervenir avant qu'elles ne provoquent des arrêts de production.

Exemple : Les pipelines de gaz naturel sont souvent équipés de capteurs IoT qui surveillent la pression, la température et le débit, permettant de détecter les anomalies et de planifier des interventions de maintenance ciblées.

➤ **Matériaux et Conceptions Résistants**

L'utilisation de matériaux résistants à la corrosion, aux températures extrêmes et à l'usure, ainsi que des conceptions robustes, peut prolonger la durée de vie des équipements. Les matériaux avancés, comme les alliages spéciaux et les revêtements protecteurs, sont essentiels.

Exemple : Les composants d'instrumentation utilisés dans les raffineries sont souvent fabriqués en acier inoxydable ou revêtus de matériaux résistants aux produits chimiques pour éviter la corrosion.

-Maintenance Préventive et Prédicative

Mettre en place des programmes de maintenance préventive et prédictive pour identifier et résoudre les problèmes avant qu'ils ne causent des défaillances majeures. Cela implique l'utilisation d'outils de surveillance de l'état des équipements et de logiciels de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO).

Exemple : Les turbines à gaz dans les centrales électriques sont surveillées en permanence pour détecter les signes d'usure ou de défaillance imminente, permettant des réparations planifiées avant qu'une panne ne survienne.

➤ **Formation et Compétences**

Investir dans la formation continue des techniciens pour s'assurer qu'ils possèdent les compétences nécessaires pour effectuer la maintenance dans des environnements hostiles. Cela inclut la formation sur les nouvelles technologies, les procédures de sécurité et les meilleures pratiques de maintenance.

Exemple : Les techniciens travaillant dans les environnements nucléaires reçoivent une formation spécialisée sur la manipulation des équipements sous radiations, les procédures d'urgence et les normes de sécurité strictes.

➤ **Gestion des Stocks**

Maintenir un stock adéquat de pièces de rechange critiques et optimiser la logistique pour les interventions d'urgence. La gestion proactive des stocks et des fournisseurs est essentielle pour minimiser les temps d'arrêt.

Exemple : Une usine de fabrication de semi-conducteurs doit disposer d'un inventaire suffisant de composants critiques pour éviter les interruptions de production dues à des pannes d'équipements. En résumé, la maintenance des systèmes d'instrumentation dans des environnements hostiles exige une combinaison de technologies avancées, de matériaux robustes, de stratégies de maintenance proactives et d'une formation spécialisée des techniciens. La gestion efficace de ces défis est cruciale pour assurer la fiabilité et la performance des équipements tout en minimisant les coûts et les risques pour la sécurité.

2. Analyse des besoins

2.1 Identification des besoins spécifiques en matière de maintenance dans les environnements hostiles

La maintenance des équipements dans les environnements hostiles représente un défi majeur nécessitant une attention particulière et des mesures spécifiques pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des systèmes. Que ce soit dans des environnements marins, industriels, extraterrestres ou autres, les conditions extrêmes auxquelles sont exposés les équipements exigent une approche rigoureuse et adaptée. Voici une analyse détaillée des besoins spécifiques en matière de maintenance dans ces environnements :

- **Résistance aux conditions environnementales :**

Les équipements utilisés dans des environnements hostiles doivent être conçus pour résister à des conditions extrêmes telles que des températures extrêmes, des niveaux élevés d'humidité, des vibrations intenses, des pressions élevées ou encore des expositions à des produits chimiques corrosifs. La conception des équipements doit donc intégrer des matériaux et des revêtements spécifiques capables de résister à ces contraintes environnementales.

- **Protection contre la corrosion :**

La corrosion est l'un des principaux facteurs de dégradation des équipements dans les environnements hostiles, en particulier dans les environnements marins ou industriels. La maintenance doit donc inclure des mesures de protection contre la corrosion telles que l'application de revêtements anticorrosion, l'utilisation de matériaux résistants à la corrosion, ou encore la mise en place de systèmes de ventilation pour limiter l'accumulation d'humidité.

- **Surveillance continue :**

La surveillance continue des équipements est essentielle pour détecter les signes de défaillance ou de détérioration avant qu'ils ne deviennent critiques. Cela implique l'installation de capteurs et de systèmes de surveillance permettant de surveiller en temps réel les paramètres clés tels que la température, la pression, les niveaux d'humidité, ou encore les vibrations. La surveillance continue permet ainsi d'anticiper les pannes et de planifier les interventions de maintenance de manière proactive.

- **Maintenance préventive rigoureuse :**

La maintenance préventive joue un rôle crucial dans la préservation de la fiabilité des équipements dans les environnements hostiles. Cela implique la réalisation régulière d'inspections, le remplacement des pièces usées, le nettoyage des composants, la lubrification des mécanismes, et la réalisation de tests de performance pour s'assurer du bon fonctionnement des équipements. Une planification rigoureuse des opérations de maintenance préventive permet de minimiser les risques de défaillance et de prolonger la durée de vie des équipements.

- Planification logistique :

La maintenance dans les environnements hostiles nécessite une planification logistique minutieuse en raison des difficultés d'accès et des contraintes de sécurité. Il est souvent nécessaire de coordonner les opérations de maintenance avec d'autres activités telles que les arrêts de production, les périodes de basse activité, ou encore les fenêtres d'intervention dans le cas des installations sous-marines. Une planification efficace permet de minimiser les interruptions d'activité et d'optimiser l'utilisation des ressources.

- Formation et compétences techniques :

Les techniciens chargés de la maintenance dans les environnements hostiles doivent posséder des compétences techniques spécifiques et être formés aux procédures de sécurité particulières. Ils doivent également être familiarisés avec les équipements de protection individuelle nécessaires pour travailler dans ces conditions extrêmes. Une formation adéquate permet de garantir la sécurité des travailleurs et la qualité des interventions de maintenance.

- Utilisation de technologies adaptées :

Le développement et l'utilisation de technologies adaptées aux environnements hostiles peuvent faciliter les opérations de maintenance et améliorer l'efficacité des interventions. Parmi ces technologies, on peut citer les robots de maintenance autonomes capables d'effectuer des tâches dans des environnements difficiles d'accès ou dangereux pour les humains, les capteurs intelligents permettant une surveillance à distance des équipements, ou encore les matériaux et revêtements innovants offrant une meilleure résistance aux conditions environnementales.

2.2 Les exigences techniques des systèmes d'instrumentation

Les systèmes d'instrumentation dans les environnements hostiles doivent répondre à des exigences techniques strictes pour garantir leur fiabilité, leur durabilité et leur efficacité. Ces exigences couvrent divers aspects, allant de la conception des équipements à leur maintenance, en passant par les procédures de sécurité. Voici une explication détaillée des principales exigences techniques et opérationnelles :

- Exigences Techniques

Matériaux de Haute Qualité : Les systèmes doivent être fabriqués à partir de matériaux capables de résister aux conditions extrêmes, comme des alliages métalliques résistants à la corrosion, des plastiques hautes performances, et des revêtements protecteurs. Par exemple, l'acier inoxydable, le titane et les revêtements en céramique sont souvent utilisés pour leur résistance aux environnements corrosifs.

- Scellage et Étanchéité :

Les boîtiers et les composants doivent être conçus pour empêcher l'intrusion de poussière, d'eau et d'autres contaminants. Les indices de protection (IP) comme IP67 ou IP68 sont couramment utilisés pour garantir l'étanchéité.

Isolation Thermique : Dans les environnements à températures extrêmes, une isolation thermique adéquate est essentielle pour protéger les composants électroniques sensibles. Cela peut inclure l'utilisation de matériaux isolants, de dissipateurs thermiques et de systèmes de refroidissement ou de chauffage intégrés.

- Tolérance aux Vibrations et aux Chocs

Montage Antivibratoire : Les systèmes doivent être montés sur des supports antivibratoires pour minimiser les effets des vibrations mécaniques. Les isolateurs de vibrations et les amortisseurs de chocs sont couramment utilisés.

Conception Renforcée : Les composants doivent être conçus pour résister aux chocs mécaniques. Cela inclut l'utilisation de boîtiers renforcés et de fixations robustes.

- Immunité aux Interférences Électromagnétiques (EMI)

Blindage Électromagnétique :

Les équipements doivent être protégés contre les interférences électromagnétiques (EMI) qui peuvent affecter les performances des systèmes électroniques. Des boîtiers blindés et des filtres EMI sont souvent utilisés.

Mise à la Terre et Blindage des Câbles : Une mise à la terre appropriée et l'utilisation de câbles blindés sont nécessaires pour réduire les interférences.

- Fiabilité et Durabilité

Composants de Haute Fiabilité : Les composants doivent être choisis pour leur fiabilité et leur durabilité. Les tests de qualification et les certifications de qualité sont essentiels.

Redondance et Tolérance aux Pannes : Les systèmes critiques doivent intégrer des mécanismes de redondance et de tolérance aux pannes pour garantir une disponibilité continue. Par exemple, des capteurs doubles et des chemins de signal redondants peuvent être utilisés.

2.3 Analyse des risques industriels dans ces environnements

Le risque industriel résulte de l'exploitation des installations industrielles dangereuses et qui est plus particulièrement relatif à la possibilité d'occurrence d'un accident majeur. Gérer un risque est un processus itératif qui a pour objectif d'identifier, d'analyser, d'évaluer et de le réduire au maximum ou de le maintenir dans des limites acceptables. La gestion des risques est une des composantes fondamentales de la gestion d'un système. Elle est essentielle à la réussite des entreprises, que ce soit en terme économique ou environnemental.

L'analyse des risques est une étape clé du processus de gestion des risques. Sa réalisation nécessite de mettre en œuvre une démarche structurée systématique. C'est ce à quoi sont

destinées les méthodes que nous présentons dans ce chapitre. Celles-ci sont applicables à une variété de risques d'origine technique, en particulier aux risques industriels majeurs.

Les risques industriels peuvent être définis comme des situations dangereuses rencontrées dans les activités dites industrielles, dans les usines de production et leurs annexes comme les locaux de stockage des matières premières et des produits finies, les laboratoires de recherche, de mise au point et de contrôle [2].

Une étude de risques comporte quatre étapes distinctes : définition, identification, modélisation, hiérarchisation.

Définir le système (ou le patrimoine)

L'analyse du système (ou du patrimoine) conduit à une représentation hiérarchisée des équipements, sous-ensembles et composants, ou plus généralement des sous-systèmes, qu'ils soient matériels ou liés à des processus. Le système et ses composants sont définis à partir de la documentation originale et de la réglementation qui encadre sa conception et son utilisation.

Le système s'intègre dans un environnement auquel il fournit des matières, produits, énergies, services, etc. Il comporte des risques de nuisances, pollution et divers dommages, posant ainsi des questions de responsabilité, tant pour le système et ses performances que pour les tiers environnants. Le système est donc soumis à des objectifs et contraintes que l'exploitant doit identifier afin de construire sa stratégie et l'appliquer à tous les niveaux de l'analyse systémique.

Identifier les risques du système

Les quatre méthodes utiles : l'analyse préliminaire des risques (APR), l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), l'analyse de l'arbre des événements (AAE), l'analyse par arbre des défauts (ADD).

Modéliser la logique des causes et des effets

Il s'agit de repérer les risques les plus dommageables pour le système et son environnement, ainsi que d'identifier les liens de causalité entre chaque événement et leurs conséquences probables. La démarche déductive permet de reconstituer les séquences virtuelles successives susceptibles de mener à la situation indésirable.

Hiérarchiser les risques

Cette phase consiste à analyser les événements indésirables en tenant compte de leur gravité et de leur probabilité d'occurrence, afin d'évaluer le niveau de risque (ou les dangers) pour le système et son environnement. Cet outil aide à la prise de décision pour la conception, la modification et l'utilisation du système, permettant ainsi d'exercer la responsabilité avec le niveau de compétence et d'autorité requis

Faire choix parmi les démarches analytiques

On distingue deux types de démarches analytiques suivant qu'elles s'appuient sur une chronologie d'événements successifs connus ou pressentis ou qu'elles procèdent en sens « inverse »

du processus de défaillance :

- La démarche inductive : consiste à examiner les différentes séquences d'événements préjudiciables ainsi que la cause du préjudice. Cette analyse directe, suivant la chronologie des événements, correspond à l'AMDE (analyse des modes de défaillance et de leurs effets). Cette méthode part des causes pour identifier les effets produits. Elle est également utilisée dans l'analyse préliminaire des risques (APR) et permet de simuler des enchaînements probables de phénomènes successifs menant à un événement indésirable.
- La démarche déductive : méthode inverse par rapport à la chronologie des événements, permet de remonter aux causes premières des défaillances identifiées a priori. En partant des effets de chaque événement menant aux défaillances, on peut élaborer un « arbre des défauts » (ADD), qui représente de manière logique les événements primaires conduisant à l'événement indésirable. Cette méthode permet également de simuler les dysfonctionnements. [3]

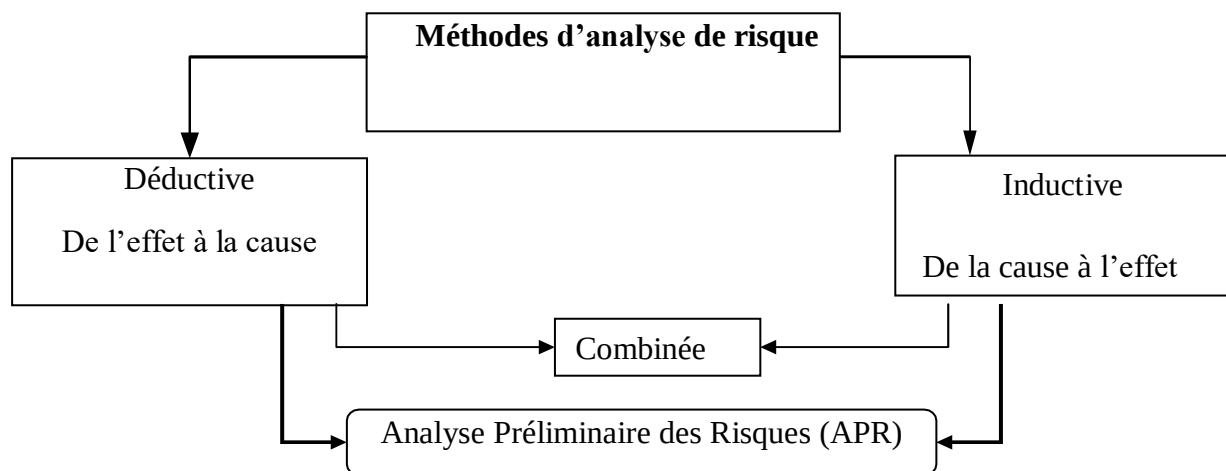


Figure 2.1:méthode d'analyse du risque

-Critères de choix d'une méthode d'analyse de risque :

L'essentiel des critères pesant dans la mise en œuvre d'une méthode plutôt qu'une autre dans l'étude d'un système donné, ces critères sont :

- Domaine de l'étude.
- Stade de l'étude (spécification, conception, ..., démantèlement).
- Perception du risque dans ce domaine.
- Culture de la Sûreté de Fonctionnement de l'organisation.
- Caractéristiques du problème à analyser.
- Niveau envisagé de la démonstration de la sécurité.
- Savoir-faire des intervenants.
- Nature des informations disponibles (spécifications du système et de ses interfaces, contraintes, etc.).
- Retour d'expérience et base de données disponibles.
- Moyens humains, logistiques et autres.

Toutefois, l'utilisation séparée d'une seule méthode d'analyse de risque peut ne pas apporter une démonstration définitive de la réalisation des objectifs de sécurité. En effet, il est nécessaire de combiner plusieurs méthodes pour une meilleure complétude et une bonne cohérence en termes de résultats.

La méthode HAZOP (Hazard and Operability Study)

La méthode HAZOP, développée par la société Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970, sert à évaluer les dangers potentiels découlant de dysfonctionnements humains ou matériels, ainsi que leurs impacts sur les systèmes. En 1980, l'Union des Industries Chimiques (UIC) a publié une version française de cette méthode dans son cahier de sécurité n°2, intitulé « Étude de sécurité sur schéma de circulation des fluides »

Principe de la méthode

La méthode HAZOP est spécialement conçue pour l'analyse des risques dans les systèmes thermo-hydrauliques, où la maîtrise de paramètres comme la pression, la température, le débit et le niveau est cruciale. Contrairement à d'autres approches, l'HAZOP se concentre sur les déviations potentielles des principaux paramètres d'exploitation de l'installation, plutôt que sur les modes de défaillance.

Pour chaque partie du système examinée (ligne ou maille), les déviations sont systématiquement générées en combinant :

- Des mots-clés tels que « Pas de », « Plus de », « Moins de », « Trop de ».
- Des paramètres associés au système, comme la température, la pression, le débit, la concentration,

le temps ou les opérations à effectuer.

La combinaison de ces éléments se fait ainsi : Mot-clé + Paramètre = Déviation.

Le groupe de travail doit alors déterminer les causes et les conséquences potentielles de chacune de ces déviations. Il doit aussi identifier les moyens existants pour détecter ces déviations, prévenir leur occurrence ou en limiter les effets. Si nécessaire, le groupe pourra proposer des mesures correctives pour améliorer la sécurité.

Déroulement de la méthode

La méthode HAZOP suit les étapes présentées sur le schéma de la figure

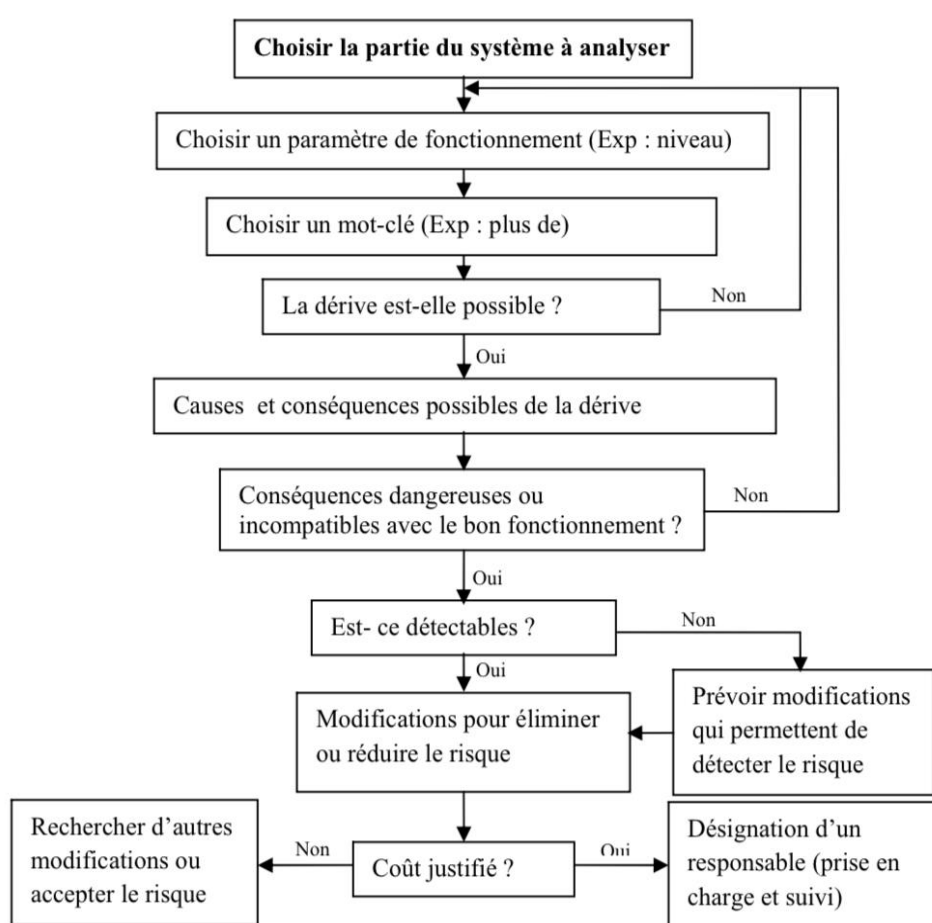


Figure 2.2: déroulement de la méthode d'analyse HAZOP

Tableau 2.1: Exemple de tableau d'analyse par la méthode HAZOP

Mot clé	Déviation	Cause possible	Conséquences	Correction envisagés
Less off	Moins de débit, Moins de température	Défaillance de la pompe d'alimentation	Débit faible	Pompe de secours

La méthode APR (Analyse préliminaire des risques)

Elle permet d'identifier et éliminer (ou de minimiser) les risques de situations dangereuses ou accidents potentiels dès la conception du système et ultérieurement de les maîtriser en phase d'exploitation. Elle débouche sur des règles précises de conception et d'ingénierie de maintenance. La présentation est faite de façon simple et pratique, de tableaux et arbres logiques par exemple.

On va prendre les tableaux d'informations comme un exemple parce qu'ils sont les plus utilisés en industrie

Le tableau d'informations :

La présentation des informations sous la forme d'un tableau à colonnes doit aider au tracé ultérieur de la logique. Celui-ci identifie :

- Le système lui-même et ses sous-systèmes, fonctions et sous-fonctions sous une forme arborescente.
- Les phases d'utilisation du système pendant lesquelles il peut y avoir un risque (conception, mise en service, changements de régimes, service exceptionnel, arrêts...).
- Les éléments dangereux, présentant un risque intrinsèque (exemples : organe porté à une température élevée, systèmes en mouvement, fluides corrosifs ou dangereux circulant...).
- Les événements indésirables causant des situations dangereuses (des fuites d'huile, des vibrations...).
- Les situations dangereuses résultant des interactions entre éléments et événements ci-dessus (la non-

détection de la fuite d'huile en temps opportun dans le même exemple).

- Les événements pouvant causer l'accident potentiel

- Les accidents potentiels résultant des situations précédentes (par exemple accident de personne, pollution par le fluide véhiculé... suite à la détérioration des organes de la machine précédente).

- Les conséquences des accidents potentiels (par exemple responsabilités civiles, dédommagements, arrêt de production, effets médiatiques, perte de clientèle...).

- La gravité ou mesure quantitative de la gravité du risque en fonction d'un barème

- Les mesures préventives : recensement des mesures proposées pour maîtriser le risque par des moyens de surveillance ou éradication du risque par des choix technologiques adaptés.

- L'application des mesures préventives : modes opératoires, procédures, spécifications, contrôles, programme d'assurance qualité, audits...

Si la méthode est essentiellement inductive, elle nécessite cependant l'application conjointe de la méthode déductive pour savoir comment les éléments dangereux peuvent conduire à l'accident potentiel.

Tableau 1.2 : Tableau d'analyse APR

Fonction	Phase	Entité dangereuse	Situation dangereuse	La cause	Accident potentiel	Barriere de sécurité
Régulation du niveau d'une sphère GPL	Remplissage	Sortis bloqué	Augmentation de niveau simultanée sur l'ensemble des sphères en service, Eclatement de capacité par surremplissage Formation d'un nuage inflammable Risque d'un flash fire, jet enflammé	Pompe défaillante	Explosion	LAH (Alarme de niveau haut) des différentes sphères alarme + action opérateur (démarrage pompe)

3. Conception et développement

3.1 Choix des technologies et des méthodes de maintenance adaptées aux environnements hostiles

De nos jours, la maintenance est reconnue comme la solution optimale pour augmenter les performances des entreprises et améliorer la fiabilité opérationnelle en minimisant les risques. Ce chapitre offre une revue de la littérature couvrant les recherches et les applications industrielles pertinentes à la problématique de notre mémoire, centrée sur l'approche MBR (Maintenance basée sur le risque). Il a pour objectif de situer ce travail par rapport aux études précédentes et de mettre en lumière les contributions potentielles tant sur le plan scientifique qu'industriel.

Cette section du chapitre traite de l'intégration des risques dans le système de gestion des actions de maintenance. Des recherches ont porté sur l'optimisation des stratégies de maintenance en minimisant le niveau de risque. Ces études soulignent l'importance de maîtriser préventivement le niveau de risque en raison de son impact sur les coûts de maintenance, les pertes de productivité, la qualité et les rendements. Cette approche considère le risque comme un élément central pour définir l'ensemble des actions préventives. L'analyse des aléas pour chaque unité d'équipement permet d'identifier les risques pouvant affecter le bon fonctionnement, facilitant ainsi leur prévention par des actions appropriées.

L'évolution de la politique de la maintenance vers la maintenance basée sur le risque :

Les études dans le domaine de gestion des équipements et leur fiabilité sont nombreuses et variées. Diverses politiques ont été développées pour minimiser le taux de panne, baisser le niveau de risque et améliorer la disponibilité des machines. [4]

La fonction maintenance connue dans ses débuts par le caractère correctif, a évolué depuis vers des systèmes de contrôle, de prévention et de supervision. Dans ce cadre, les politiques de maintenance, généralement connues par des aspects de fiabilité et de disponibilité, visent à optimiser le fonctionnement des machines de production en minimisant le risque de panne.

Des approches diverses ont été proposées pour améliorer le fonctionnement des systèmes de maintenance. Les principales fonctions objectives étudiées sont : la minimisation des coûts, l'amélioration de la disponibilité, la réduction des risques. Les coûts indirects de maintenance sont équivalents, en Europe, de 4% à 8% du chiffre d'affaires; c'est sensiblement la même chose pour les coûts directs

Avec l'évolution des technologies, le développement des moyens de communication avec et sans fil, la maintenance à distance ou « e-maintenance » est parmi les avancées technologiques récentes en terme de contrôle et de maîtrise des risques à distance.

Montrent que ce type de maintenance permet au moins d'identifier la cause racine ou des pannes, réduire les pannes des systèmes de production, réduction des risques, éliminer les coûts élevés des maintenances et améliorer la qualité et la productivité

Le risque et sa pertinence dans MBR :

Risque et maintenance : deux termes qui se croisent sur l'objectif et dont l'existence de l'un est déclencheur de l'autre. L'objectif de la maintenance préventive est d'éliminer le risque mais s'il n'y a pas de risque la maintenance n'a pas lieu d'être.

Les théories de fiabilité, les politiques de maintenance préventive, sont présentées dans un cadre d'optimisation des coûts des actions correctives et préventives. La majorité de ces approches sont focalisées sur la performance des équipements par une réduction de l'occurrence des pannes et l'optimisation des fréquences de maintenance. Le risque de panne n'est pas une notion courante dans la définition des plannings.

La notion de maîtrise des risques est apparue dans un cadre de performance industrielle, de gain de confiance vis-à-vis du client et de contrôle des capacités de production. Dans le domaine de la maintenance, la méthodologie RFM (Risk Focused Maintenance) a été proposée pour définir les priorités des actions en accord avec le niveau de risque [5].

[6] ont appliqués les analyses des risques lors de l'étape de conception d'un moteur électrique proposant un processus de gestion des actions correctives (au niveau design) basé sur les analyses des événements par les FMECA. Ils considèrent la précision dans la définition des risques comme le facteur majeur de réussite des FMECA. Une méthode de maintien et de mise à jour de la base des risques est proposée. Il est pointé que les analyses des risques doivent suivre l'évolution du produit et de l'équipement.

[7] ont présentés un cas d'étude d'un système compresseur pour lequel on applique la méthode FMECA pour minimiser les coûts indirects de maintenance, en focalisant sur l'identification des facteurs mineurs qui ont un impact majeur sur le système (principe du Pareto). Ils procèdent par cascade pour identifier les causes potentielles au plus bas niveau du système (décomposition fonctionnelle). Un cas d'application dans une PME est présenté en montrant l'apport d'une telle approche pour définir les besoins en termes de disponibilité des équipements et, ainsi, aiguiller vers une amélioration de la politique de maintenance.

Les approches RFM considèrent les risques comme une des parties du processus de décision pour la maintenance

D'autres approches comme RBM (Risk Based Maintenance) considèrent le risque comme critère central dans le processus de décision [8]

3.1.3 Le rôle des analyses des risques dans l'optimisation des priorités de maintenance

Le rôle des politiques de maintenance est de définir des moyens de détection et de mise en place d'actions correctives ou préventive pour assurer le bon fonctionnement d'un système.

Le rôle de ces politiques a été largement démontré et mesuré en termes de productivité et bénéfice de l'entreprise. Mais plus les systèmes de production sont complexes, plus l'identification et le choix de ces stratégies devient difficile. Des diverses stratégies ont été adoptées en fonction du domaine industriel. Les pannes et les arrêts non contrôlés affectent le temps de cycle de production, la qualité du produit et, évidemment, le coût de production. Les politiques de maintenance citées dans la section précédente montrent l'intérêt de planifier à l'avance les actions en optimisant des intervalles qui les séparent.

L'idée d'intégrer la notion de risque dans la maintenance des équipements a été utilisée par les militaires pour fiabiliser leurs systèmes et éviter les défaillances qui coûtent très cher en pertes matérielles et humaines dans ce domaine. La complexité des équipements et la technologie avancée utilisée pour les piloter rend la tâche des services maintenance difficile et la recherche de la cause de panne plus délicate. C'est pourquoi une analyse préliminaire des risques associés au fonctionnement de l'équipement et ses composants présente un des supports de prévention et de minimisation du taux de panne. [9]

L'approche MBR est au cœur de cette idée, elle montre comment à partir d'une estimation de risque, passant par une analyse des impacts vers une amélioration des plans préventifs de maintenance

[10] décrivent une méthode pour l'amélioration des plannings de maintenance et leur mise à jour en se basant sur le niveau de risque est décrite par [11]. Ils développent trois modules: estimation du risque, évaluation du risque et modification des plans de maintenance.

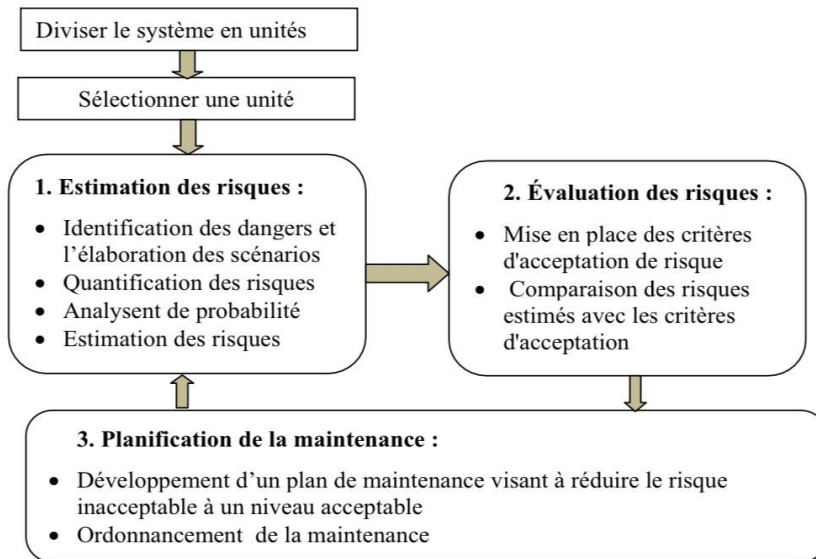


Figure 3.1 Architecture de la Méthodologie de la MBR

[12] ont réalisé une synthèse de la méthode MBR. Ils présentent les différentes étapes de la méthode et expliquent les inconvénients. Tous les modules de cette approche sont développés en montrant les facteurs pouvant impacter la qualité des analyses de risques.

L'unité est divisée en systèmes majeurs, chaque système est divisé en sous-systèmes et les composants de chaque sous-système sont identifiés. Chaque système est analysé un à la fois jusqu'à ce que toute l'unité soit analysée. Les données requises pour analyser les scénarios potentiels de défaillance pour chaque système sont collectées. Les relations physiques, opérationnelles et logiques entre les composants sont étudiées, à partir des trois étapes décrites ci-dessous.

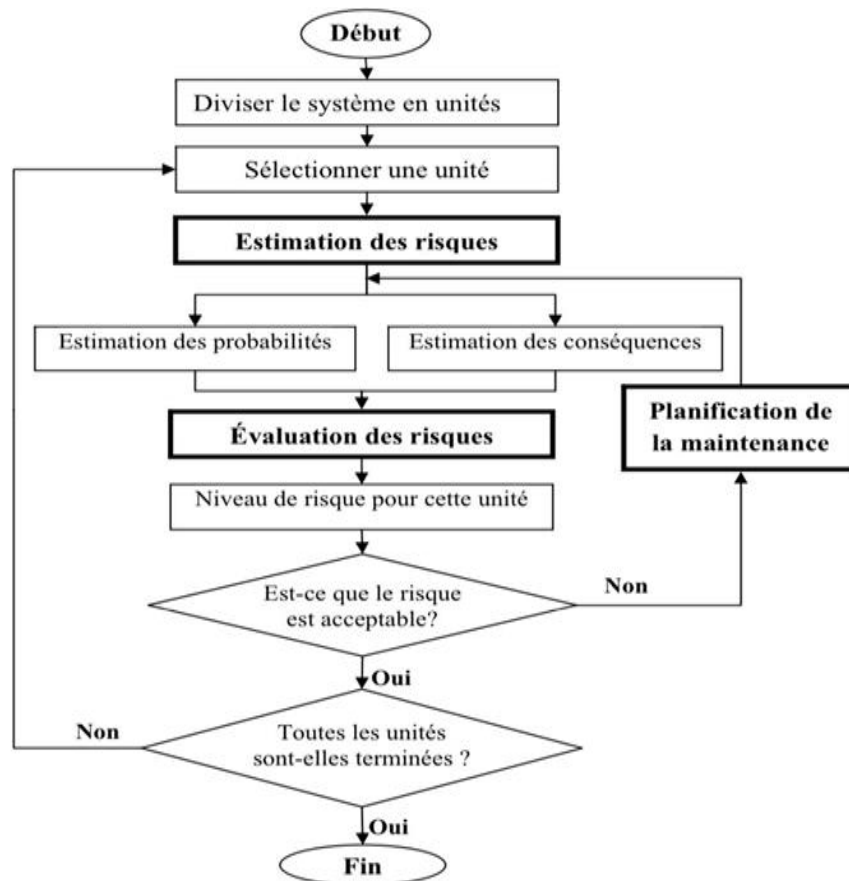


Figure 3.2 Diagramme de la méthodologie MBR

➤ L'estimation du risque :

Elle commence avec l'identification des événements majeurs conduisant à un scénario de défaillance. Un arbre de défaillance est utilisé pour identifier les événements de base et les trajectoires intermédiaires qui conduisent à l'événement majeur. Les données de défaillance des événements de base des sous-systèmes sont utilisées pour estimer la probabilité de défaillance du sous-système. Une analyse de conséquence quantifie les effets d'occurrence de chaque scénario de défaillance. Ceci est basé sur l'étude des coûts de maintenance incluant les coûts encourus à la suite d'une défaillance. À la fin, une mesure quantitative du risque est obtenue.

➤ L'évaluation du risque :

Un critère de « risque acceptable » est déterminé et utilisé pour décider si le risque estimé pour chaque scénario de défaillance est acceptable ou pas. Les scénarios de défaillance qui produisent un risque inacceptable sont utilisés pour déterminer les stratégies de maintenance pour les composants impliqués.

➤ Planification de la maintenance :

Les sous-systèmes qui ne rencontrent pas le critère de risque acceptable sont étudiés dans le but de concevoir un plan de maintenance qui va réduire le risque. Le type ainsi que l'intervalle de maintenance sont décidés à ce niveau. En modifiant l'intervalle de maintenance, les probabilités de défaillance changent. L'analyse inversée de l'arbre de défaillance permet de déterminer, les probabilités pour chaque événement de base. Les intervalles de maintenance, qui produisent ces probabilités, sont ensuite calculés.

3.2. Intégration de solutions de surveillance et de diagnostic à distance

3.2.1 Problématique :

Il y a près de trente ans, les premières "conduites centralisées" sont apparues dans les industries à feu ou à procédés continus. Avant cela, les commandes de systèmes complexes comme ceux de la NASA ou des avions Concorde semblaient fascinantes. Aujourd'hui, des systèmes similaires sont utilisés dans les trains à grande vitesse et les bâtiments industriels pour centraliser et sécuriser la gestion des données. Ces systèmes, tels que les SNCC, GTC ou DCS, partagent de nombreuses caractéristiques : une forte concentration d'informations, une grande sécurisation de la conduite, des indicateurs de surveillance et des outils de diagnostic. Cependant, leur développement s'est souvent fait sans l'implication des acteurs de maintenance, qui n'ont pas toujours perçu leurs avantages. Ce chapitre propose d'intégrer ces outils de conduite et de surveillance dès le début des projets, afin de créer des outils communs pour l'exploitation et la maintenance, et de concevoir une architecture générale adaptée dès le départ.

3.2.2 Adopter une architecture

L'exemple d'architecture schématisé figures, concernant une installation industrielle de procédés continus (SNCC), la partie supérieure représente schématiquement la structure du système numérique, la partie inférieure les outils de « supervision »

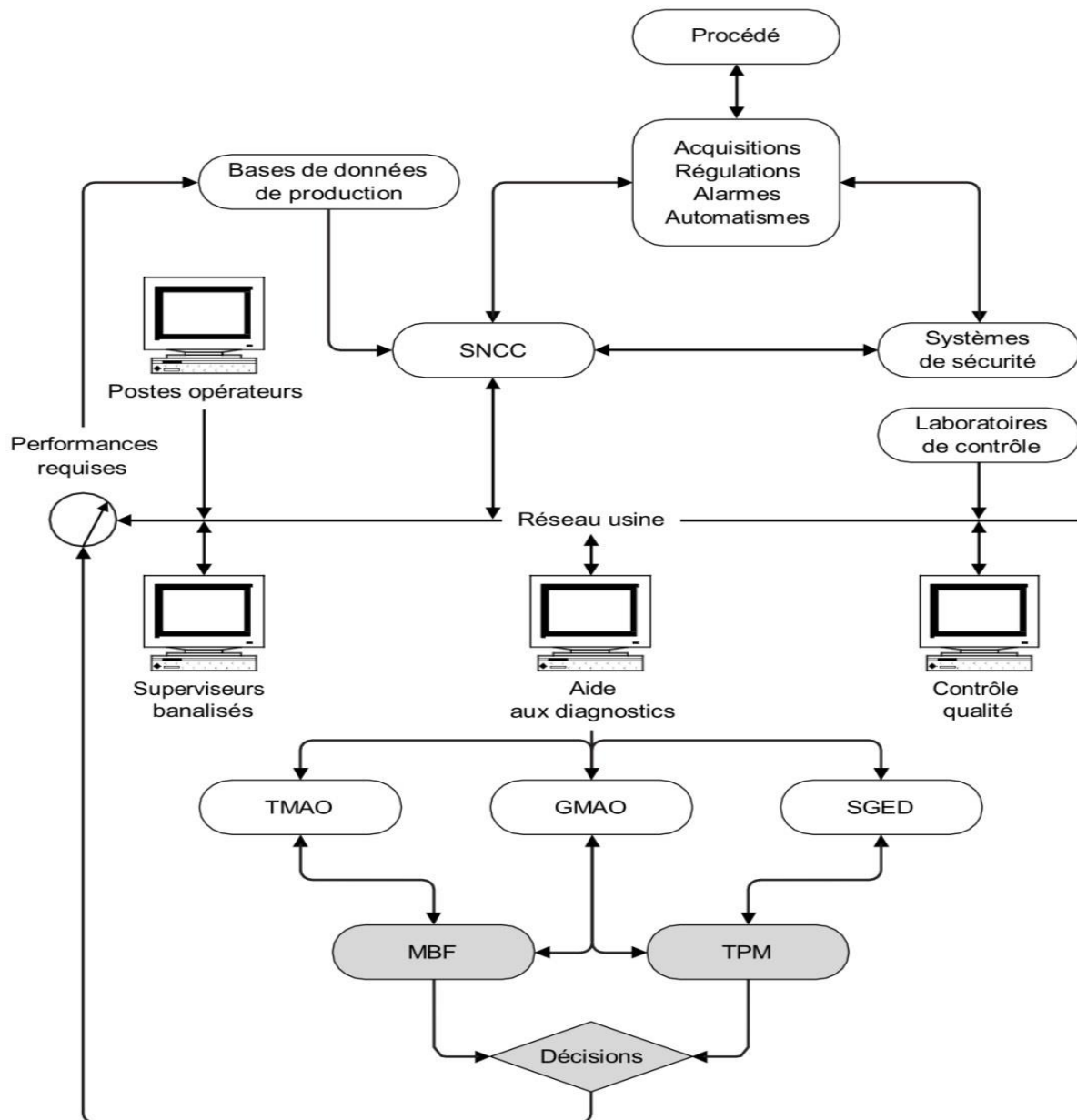


Figure 3.3 exemple de système de contrôle centralisé industriel (SNCC) [13]

3.2.3 Assurer les fonctions essentielles

Les conduites numériques centralisées offrent, généralement, les fonctions énumérées ci-après, à des degrés qui dépendent de chaque application ; il paraît difficile de ne pas considérer leur importance pour la fonction maintenance et sa mission primordiale : la sûreté de fonctionnement. Leur énumération peut aider à l'expression des besoins des acteurs de maintenance et de les faire participer activement à la conception d'un système numérique.

- La conduite automatique

C'est en général la fonction première : conduire une installation ou un équipement par des moyens automatisés. Le relais est assuré par des automates programmables et l'action humaine peut se limiter à l'affichage de « points de consignes », c'est-à-dire de valeurs de paramètres de performances donnés (températures, débits, vitesses, niveaux, pressions, puissances, tensions, etc.) que le système est chargé de contrôler et d'obtenir par instruction à des organes de régulation (contrôleurs, transmetteurs, enregistreurs, etc.).

➤ La sécurité

Autrefois, l'exploitation traditionnelle, marquée par une vision parcellaire et séquentielle des données, se traduisait un peu comme une « conduite aux alarmes », en régime perturbé en permanence et difficile à gérer. Le manque de réactivité devant un nombre d'alarmes nécessairement surabondant mettait les opérateurs en situation de faire face à des voyants rouges multiples, dont on ne savait plus lequel avait entraîné les autres. La réduction du nombre des alarmes par un filtrage dynamique est possible et tient compte de la chronologie et des causes premières. Elle rend pertinente l'information synthétique et favorise l'action sélective et ciblée sur les phénomènes fondamentaux.

Le système centralisé acquiert des « seuils » de performances à ne pas dépasser, et agit sur les automates pour « donner l'alarme » lorsque les limites choisies sont atteintes, ou arrêter l'équipement, le composant qui en fait l'objet. Ces systèmes « tout ou rien » (ou « tout ou peu ») sont généralement à deux seuils : alarme d'abord puis arrêt. Quelquefois un seuil intermédiaire met l'équipement en situation sécurisante (baisse de régime, maintien en circulation des fluides utilitaires...), avant arrêt total.

Nous avons souligné, au paragraphe précédent, l'importance des consoles dites de « supervision » pouvant être dédiées à tous ceux qui doivent analyser des défaillances, soit a posteriori pour les expliquer « post mortem » et prendre des dispositions préventives pour l'avenir, soit a priori pour bénéficier d'informations antérieures ou au plus tard en temps réel, pour « conduire aux instruments » durant les phases les plus critiques.

Dans les cas d'analyses tardives devenues contentieuses ou juridiques, ces instruments sont particulièrement utiles pour rassembler des éléments qui opposent des parties à une enquête et aider à la détermination des responsabilités civiles, voire pénales, par les juges qui en sont saisis ou les experts qui ont été commis à ces fins.

➤ La mémorisation des incidents

Les systèmes prévoient généralement des « consigneurs d'états », véritables « boîtes noires » où sont mémorisés, dans un ordre chronologique (au temps de scrutation près, souvent infime), tous événements ayant précédé une anomalie, une défaillance ou une panne. Il va de soi que ces outils sont précieux pour l'analyse des causes et effets des défaillances pour en trouver les remèdes.

Remarque

DCS, SNCC ou GTC constituent maintenant non seulement des collecteurs d'informations mais aussi des outils de traitements restituant, (en temps réel ou en différé), la chronologie des événements pouvant expliquer une défaillance majeure (la « boîte noire » bien connue en aéronautique). Il faut cependant souligner que le cahier des charges de telles « boîtes » doit être très exigeant si l'on veut une réelle représentativité du déroulement des défaillances successives, les unes ayant pu entraîner les suivantes, pour éviter que ne soient confondues les causes premières et leurs conséquences. Les temps de scrutation et d'enregistrement des données doivent être le plus proche possible du temps réel. Des systèmes existent malheureusement où ces exigences n'ont pas été prises en compte ; les événements étant restitués de façon aléatoire entre deux scrutations, les interprétations qu'on peut en faire sont entachées du manque de fidélité de la chronologie des faits et obligent à une analyse beaucoup plus délicate des enregistrements.

➤ Les indicateurs et tableaux de bord

Le traitement des données et informations permet la restitution de certains paramètres choisis comme représentatifs des performances globales attendues d'équipement ou d'un ensemble d'équipements et d'un procédé. Les indicateurs constituant des aides aux décisions aux acteurs de maintenance en concertation avec leurs collègues de production sont choisis parmi les traditionnels MTBF, TRS... directement calculés par le système et comparés à des résultats attendus.

➤ Le diagnostic en ligne

Les informations collectées par les SNCC ou GTC constituent souvent des aides directes aux diagnostics des organes et composants technologiques. Quelquefois ils sont indirectement procurés par les informations de supervision du procédé ou de l'équipement lui-même. Les évolutions de températures d'un four par exemple, de débit d'une pompe, de puissances absorbées, etc. et autres indices de pertes de performances, sont autant d'indications relatives à l'état du matériel lui-même. Plus directement, des capteurs de vibrations, des capteurs de proximité, de températures... fournissent des indications précieuses sur l'évolution d'un composant mécanique que l'on peut limiter à un seuil de perturbation admissible ou le suivre dans un but « conditionnel » ou « prévisionnel ».

3.2.4 Les avantages des systèmes numériques pour la fonction maintenance

Nous montrons par des exemples différents avantages procurés par les SNCC et GTC à la fonction maintenance si, bien entendu, les systèmes ont été conçus convenablement et s'ils sont bien utilisés.

➤ La communication

Jusqu'à ce jour, dans la plupart des cas, la dichotomie conflictuelle exploitation/ maintenance est patente. Les acteurs de maintenance interviennent généralement sans avoir d'information suffisante

pour traiter (éradiquer !) les causes de pannes : il n'y a pas d'analyse de défaillance et de diagnostic intelligents concertés. Les actions préventives sont suspectes : elles perturbent la production (coûts indirects) et elles coûtent cher à l'exploitation (coûts directs), d'où les antagonismes persistants. On constate généralement un déficit endémique notable de culture commune production/maintenance. L'entretien (souvent volontaire) d'un certain ésotérisme entraîne l'incompréhension des préoccupations de l'autre, voire la rétention d'informations (préservant le pouvoir de décision et la préséance). L'étanchéité de la connaissance favorise le duel (assassin ou suicidaire) entre le métier noble (je produis !) et le métier servile (tu ré pares !).

L'informatisation/numérisation de la conduite/surveillance est une opportunité que tous n'ont pas encore saisie, les traditions ayant la vie dure. Pourtant, quoi de plus agréable que d'avoir une information commune issue des mêmes mesures, des mêmes banques de données, des mêmes écrans de contrôle, les mêmes indicateurs, les mêmes tableaux de bord... Bref, une transparence totale des informations et des outils d'aide aux décisions allant jusqu'à rendre ces dernières évidentes. Nous avons encore beaucoup de progrès à faire pour le bon usage de ces outils, mais le progrès technique est fait, il faut simplement y ajouter : des objectifs cohérents (qui viennent « d'en haut »), une volonté (qui vient aussi généralement « d'en haut »), un minimum de formation/sensibilisation (encore « d'en haut »).

➤ La fiabilisation des mesures

Le conflit latent entre « régisseurs » ou « instrumentistes » et « producteurs » sur la fiabilité et la fidélité des mesures disparaît. Le traitement des « variances » des mesures physico-chimiques permet d'élaborer des mesures corrigées. Mais, la fiabilité des capteurs est généralement mise en cause ; si leur redondance est traitée de façon à détecter les incohérences des informations recueillies, l'identification des capteurs défaillants est facilitée, voire évidente, et procure une aide sérieuse à la maintenance de l'instrumentation de base.

➤ Le traitement des alarmes

Un nombre d'alarmes juste nécessaire, restituant non seulement la chronologie des défaillances mais aussi leurs causes premières, restreint le champ d'investigations, et rend le diagnostic plus rapide et plus fiable. Certaines chaînes associées aux alarmes permettent de vérifier le bon déroulement des séquences de mise en sécurité jusqu'au déclenchement final, avec l'effet « boîte noire » restituant les données d'analyses, immédiates ou ultérieures. La mémorisation des observations permet aussi l'élaboration de statistiques utiles de certains événements répétitifs : nombre de mises en services, d'arrêts, d'heures de marche, de pannes, ou bien calculs de pertes de charge, de pertes de puissance, etc.

➤ Le diagnostic en ligne

Les opérateurs de conduite disposent de moyens de diagnostics, au moins de premier niveau, les autorisant à déclencher, dans des délais maîtrisés, des compétences qu'ils n'ont pas, ou à intervenir eux-mêmes sur des organes accessibles (les cas classiques et élémentaires étant le remplacement d'un fusible ou d'une carte électronique d'automate).

La détection rapide des dérives de fonctionnement (écarts de paramètres d'état et/ou de fonctionnement du procédé et de ses composants), avant l'apparition des alarmes et de situations irréversibles, permet aux opérateurs de mesurer la situation réelle de son installation et de déclencher, sans précipitation, des appels à recommandations de spécialistes. Certaines installations sont même « télé-surveillées » par ces spécialistes qui sont amenés à réagir avant l'opérateur lui-même pour le conseiller ou déclencher une intervention physique sur un composant.

➤ L'interface avec la GMAO

L'exploitation en temps réel des informations issues des SNCC et GTC peut contribuer de façon très efficace à l'aide à la maintenance par des interfaces bien comprises avec la GMAO. Il n'existe pas encore, à notre connaissance, beaucoup de développements vraiment élaborés ; certains collectent les heures de marche de façon électronique pour le déclenchement des opérations systématiques ; c'est un minimum. On devrait mener la réflexion plus loin et accéder aux données qui permettent de gérer toutes les opérations de maintenance, leurs déclenchements et leurs historiques, les programmes de grandes opérations de maintenance, etc. Le cahier des charges reste à faire...

➤ Les risques potentiels :

Un seul inconvénient existe mais il peut être de taille s'il n'est pas pris en compte par anticipation à ses effets ; il s'agit de la conjugaison possible, à long terme, des risques matériels et humains. Des psychologues et des techniciens se sont réunis pour tracer une « loi de Murphy » (ou scénario catastrophe), En superposant l'évolution des compétences des acteurs à celle du vieillissement naturel du matériel, nous obtenons une résultante peu favorable à la sûreté de fonctionnement. La conjugaison des deux phénomènes de fiabilité des équipements et de fiabilité humaine, à certaines époques du cycle de vie, est un danger qu'un industriel ne peut négliger dans ses choix stratégiques. Le suivi numérique des données évolutives, proche du temps réel, est une parade au constat tardif d'effets pouvant revêtir un caractère de gravité extrême.

4. Mise en œuvre

4.1 Elaboration d'un plan de lancement de la maintenance :

Dès la mise en service des équipements, il est nécessaire d'avoir un système d'ordonnancement/lancement des travaux de maintenance. Nous proposons, ci-après, la structure d'une procédure d'ordonnancement des travaux de maintenances (s'appuyant sur une GMAO), qu'il convient d'avoir élaboré avant la mise en services des nouvelles installations.

4.1.1 L'initiation du travail

Une demande d'intervention (DI) est initiée par quiconque (y compris un prestataire extérieur) juge nécessaire d'effectuer ou de faire effectuer une opération de maintenance. Son établissement dans une chaîne informatique déclenche, en cascade, une procédure d'approbations/réalisations jusqu'à la restitution du bien confié par l'utilisateur.

4.1.2 L'ordre de travail (OT)

L'établissement de l'OT

La DI est convertie en ordre de travail (OT) dès l'instant où un responsable en ayant les pouvoirs (maintenance, exploitation, entrepreneur...) confirme faisabilité et opportunité de l'exécution. La décision est généralement précédée d'une préparation définissant moyens matériels (outillages et pièces de rechange), ressources en personnel, échéances, priorités, durées, conditions de sécurité.

La mise en sécurité de l'équipement a fait l'objet d'une étude de risques plus ou moins complexe La coordination des travaux

Le lancement des travaux se fait au moyen de l'OT dûment approuvé, mentionné dans le programme de maintenance (plan de charge quotidien, hebdomadaire...) et remis au responsable de l'entité d'intervention (interne ou externe) « bon pour exécution ». L'équipe d'intervention rend compte systématiquement de l'état d'avancement sur les masques électroniques mis à sa disposition. Ces programmes actualisés en temps réel servent de support aux réunions de coordination systématiques. Les échéances et priorités sont modifiables à ces occasions suivant les événements survenus et la disponibilité des ressources. La gestion des « OT en attente d'exécution » se fait en fonction des priorités (sécurité, disponibilité requise). Les documents de sécurité sont remis à cette occasion. Les procédures d'urgence sont prévues mais ne doivent pas être utilisées abusivement ; le nombre d'OT déclenchés en « urgence » ne doit pas dépasser quelques pour cent du nombre total sur une période importante (mois ou année). Chaque OT fait l'objet d'un compte rendu d'intervention (CRI) dans les délais les plus brefs suivant l'intervention et sur les masques prévus sur le logiciel de GMAO. Il

rapporte les éléments qualitatifs (symptômes, effets, remèdes), et quantitatifs (échanciers, calculs des TBF, TTR, coûts...).

4.1.3 Les procédures de sécurité

Les interventions de maintenance s'inscrivent parmi les sources d'accidents du travail les plus importantes de l'industriel. Elles font nécessairement l'objet de procédures destinées à protéger les personnes, les patrimoines matériels et l'environnement. Il est de la plus haute importance de les formaliser avant la mise en service de nouveaux équipements.

-L'exercice des responsabilités

Les responsabilités du travail de maintenance se situent à deux niveaux opérationnels, un troisième constituant généralement une assistance fonctionnelle : L'utilisateur de l'équipement (individu ou entité en charge d'une zone, d'une unité, d'un équipement sur lequel doit être effectuée l'intervention). Étant le mieux informé des risques inhérents au matériel qu'il exploite et aux produits qui y sont véhiculés, il lui appartient de « livrer » une installation en tous points sécurisée, et, par conséquent, de :

- analyser les risques connus ou pressentis ;
 - rechercher les risques pouvant provenir d'autres entités voisines ou de situations exceptionnelles dans l'environnement de son périmètre de responsabilité directe ;
 - décider des précautions à prendre devant les dangers identifiés ou pressentis ;
 - s'assurer que les dispositions recommandées sont applicables et bien appliquées ;
 - vérifier que les conditions de sécurité n'évoluent pas ;
- si elles sont différentes, il procède à des remises en cause de ses prescriptions pouvant aller jusqu'à donner l'ordre d'arrêt instantané du travail en cours et/ou de son report ;
- informer et s'informer, en temps réel, de l'évolution des risques mutuels avec les entités voisines ou impliquées.

L'intervenant (individu ou entité : service, ou département, ou entreprise en charge de réaliser une opération de maintenance), parfaitement conscient des risques inhérents à son activité et informé des dangers que peut occasionner le matériel sur lequel il intervient, exerce une responsabilité et doit particulièrement :

- adopter ou concevoir une méthode d'intervention en parfait accord avec les prescriptions de sécurité ;
- utiliser des outils et engins appropriés à la réalisation du travail, conformes aux normes et exigences légales, en parfait état de marche et les utiliser avec du personnel formé et ayant les qualifications requises ;
- informer son personnel des risques potentiels du site sur lequel il le fait intervenir et des mesures de sécurité prescrites par l'utilisateur.

La sécurité (personne physique ou entité interne ou externe à l'entreprise utilisatrice du matériel « en charge de la sécurité »), exerce généralement des responsabilités plus fonctionnelles qu'opérationnelles, agit en conseil spécialiste auprès des opérationnels utilisateurs et intervenants pour entreprendre ou au moins participer à :

- l'analyse des risques inhérents au matériel et aux méthodes de travail adoptées ;
- l'élaboration des plans de prévention ;
- l'audit des dispositions prescrites, leur critique, la justification de dispositions concurrentes ou complémentaires jusqu'à prise de décision par les entités opérationnelles ;
- l'information de l'utilisateur et de l'intervenant sur les risques pressentis ;
- l'analyse des prescriptions que doivent respecter utilisateurs et intervenants ;
- l'application des mesures prescrites ;
- la mesure physique des conditions de sécurité (explosivité, teneur en oxygène d'une capacité...)

Dispositions générales

Des dispositions générales doivent être édictées et consignées dans un document du type « consignes générales de sécurité » ; elles peuvent concerner (à titre d'exemple) :

–L'autorisation d'intervenir : un travail sur un équipement ne peut commencer qu'après une autorisation formelle de l'utilisateur et de son responsable qui ont nécessairement pris des dispositions pour le rendre disponible, en toute sécurité, pendant le temps de l'intervention de maintenance. Les exigences peuvent aller jusqu'à l'établissement de permis « spéciaux » suivant la nature et les risques de certains travaux (à chaud, confiné, en hauteur...).

–L'interdiction de manœuvrer des organes et instruments de conduite des appareils strictement réservés aux utilisateurs/exploitants.

–La validation de l'autorisation :

les autorisations de travail (AT) sont délivrées pour une période donnée (journée par exemple) et doivent être validées à chaque nouvelle période, et/ou chaque fois que les conditions de sécurité sont modifiées.

–Les horaires d'intervention : sauf dérogation expresse le travail ne peut être effectué que pendant l'horaire normal de façon à disposer de l'encadrement et d'un environnement sécurisant. Hors horaires normaux, il convient de délivrer aux intervenants une autorisation spécifique.

–Les formes à respecter : de façon générale les exigences des utilisateurs sont précisées sur des documents, éventuellement électroniques, à caractère général (règles de sécurité de l'exploitant par exemple) et/ou particulier à l'opération à effectuer. Dans ce dernier cas, plusieurs documents doivent recevoir les approbations convenables, des responsables d'exploitation en particulier. Il va de soi que

l'intervenant est dans l'obligation d'appliquer les préconisations qui y sont portées. Les documents sont conservés selon des procédures spécifiques (back- up informatique ou archives traditionnelles).

–Les délégations de pouvoirs : le chef d'entreprise maître d'ouvrage, supportant une lourde responsabilité dans les travaux de maintenance, qu'ils soient effectués par son personnel organique ou par des entreprises extérieures, délègue formellement des pouvoirs aux opérationnels (utilisateurs et intervenants) pour que les risques soient identifiés et pris en compte avant toute intervention.

–Les consignes de sécurité sont toujours données pour des conditions d'exploitation données mais les opérationnels ont toujours la possibilité (le devoir !) de les modifier lorsque les conditions évoluent et font apparaître de nouveaux dangers.

L'autorisation de travail (AT)

L'AT permet à l'utilisateur de préciser les conditions dans lesquelles il « livre » l'appareil à l'intervenant et ses exigences quant à la mise en sécurité (électrique, hydraulique...). Elle spécifie l'état requis à la restitution et les contrôles qui seront effectués, séparément ou contradictoirement, avant, pendant et après l'intervention.

Les AT sont initiées et préparées par les intervenants, sur des formes standard ou sur des masques de saisie informatique :

- la nature du travail avec référence à l'ordre de travail (OT) ;
- le lieu et l'équipement concerné (en principe une autorisation par équipement sauf, par exemple, pour une journée de lubrification) ;
- les dates de début et fin prévus ;
- la méthode de travail adoptée et son organisation (avec schéma si nécessaire) ;
- les risques potentiels ;
- le nombre et la qualification des intervenants ;
- le nom du responsable de l'intervention.

Les AT sont complétées par les utilisateurs qui prescrivent les consignes de sécurité spécifiques et les permis complémentaires requis (voir permis spéciaux ci-après), annexés à l'AT.

Les AT sont validées au cours des réunions de coordination. Les documents (papier ou électroniques) sont authentifiés et validés par les responsables accrédités.

Remarque

La pratique de l'AT n'est malheureusement pas généralisée, particulièrement dans les petites structures. Il s'ensuit des incompréhensions, interprétations des « consignes » verbales et le rejet des responsabilités devant les accidents. Des procédures, même simplifiées, paraissent indispensables pour répondre à des risques particuliers.

Les permis spéciaux

En complément de l'autorisation, voici quelques exemples classiques, non exhaustifs, de documents spécifiques répondant à des risques particuliers.

Le permis de travail « à chaud »

Le permis de travail « à chaud » est requis lorsqu'un travail nécessite des outils provoquant des points chauds (flammes ou étincelles) dans un environnement à risques explosifs (hydrocarbures notamment). Est également concerné l'usage d'appareils non antidéflagrants ou d'engins à moteurs thermiques non munis de protections adaptées sur les échappements.

Le permis d'ouverture/de pénétrer/de fermeture

Une capacité ayant contenu des hydrocarbures, ou tout autre produit dangereux ou inflammable, ne peut être ouverte sans dispositions particulières qu'un permis d'ouverture doit préciser. S'il est nécessaire que du personnel y pénètre, ce permis peut être étendu à cette éventualité moyennant des compléments de prévention (nettoyage, mesure d'explosivité, par exemple) et de consignes adaptées (présence d'un agent de surveillance à l'extérieur pendant la durée de l'opération interne, source d'oxygène...). La fermeture d'un appareil s'accompagne aussi, nécessairement, de dispositions de sécurité formelles (inspection préalable à la fermeture, par exemple, par un personnel habilité).

Le permis d'excavation

Les terrassements, excavations, travaux sous le niveau du sol sont aussi des sources de risques qu'il convient d'identifier et de prévenir. Des documents spécifiques exigent, par exemple, le recours au bureau d'étude disposant de plans actualisés révélant conduites et nappes de câbles enterrées à l'endroit des travaux prévus. Repérages, balisages, consignations, fermeture de voies d'accès... peuvent être prescrits. De tels travaux requièrent en plus des protections du personnel contre tout risque d'éboulement.

L'autorisation de fermer une voie d'accès

Chaque fois qu'un travail fait prendre un risque qui peut être aggravé par la circulation de véhicules et engins, un permis spécial, fixant les accès à condamner, leurs balisages et protections, doit être délivré.

Les permis de consigner/déconsigner des équipements

Toute intervention sur un équipement alimenté par un courant électrique doit faire l'objet d'une condamnation de la source électrique spécifique par des agents habilités et de dispositions inviolables (cadenas, doubles clefs ou double cadenas...). La déconsignation fait également l'objet d'un formalisme incontournable mettant en sécurité le personnel et le matériel.

Exemple de procédure de consignation

- Vérifier l'arrêt de la machine.
- Mettre le commutateur local/distance sur « local » et « arrêt ». Ouvrir la cellule.
- Débrocher le contacteur ou le disjoncteur. Couper l'alimentation des auxiliaires.
- Fermer le sectionneur de terre et le cadener. Refermer la cellule.
- Poser un écriteau : « cellule consignée – mise à la terre ».

-Signer le permis de consignation et l'enregistrer sur cahier de consignation.

-Déposer la clef du cadenas au chef opérateur.

L'autorisation de se connecter à des utilités (circuits d'eau, d'air, de vapeur, de protection incendie...)

Les travaux nécessitant l'usage de circuits liés au procédé ou à ses utilités (eau, électricité, vapeur, air comprimé...) doivent préciser les conditions dans lesquelles le permis est accordé (moyens de raccordement, horaires, protections, etc.).

-La réception en fin de travail et le compte rendu

Le travail est considéré comme achevé lorsque l'intervenant a remis l'installation à l'utilisateur dans les conditions conformes à l'état requis ou, à défaut, avec ses caractéristiques d'origine. La réception s'accompagne des inspections et tests prévus. L'OT est « soldé » après ultime vérification de la propreté du chantier, mais reste en attente de compte rendu d'intervention dont le délai peut être limité à quelques jours suivant l'importance des travaux effectués.

L'intervenant rend compte de son travail sur les plans qualitatifs (symptômes et remèdes, pièces remplacées...) et quantitatifs (temps passé, indisponibilité de l'appareil, coût des pièces de rechange...).

4.1.4 Les hommes de maintenance et leur formation

Quelques remarques préliminaires

De l'entretien à la maintenance

Aux mutations technologiques doivent répondre de nouvelles organisations et des adaptations de compétences.

Aux qualifications devenues obsolètes doivent se substituer des métiers nouveaux. Autour des outils de production doivent être expérimentés des profils de compétence dont il faut imaginer les caractéristiques et même les noms ! Par exemple, les « pilotes, opérateurs, surveillants ou conducteurs » d'installation, etc.

Les services entretien se caractérisaient par un taux d'encadrement faible (cadres et maîtrise) et de nombreux ouvriers spécialisés organisés en ateliers corporatifs (électriciens, mécaniciens, chaudronniers, etc.). Ce corporatisme originel a fait la preuve de son inadaptation face à l'intégration technologique des systèmes actuels, et surtout face aux logiques de commande et à l'omniprésence de l'informatique. Ces systèmes demandent une plus grande réactivité, plus de vigilance, plus de polyvalence de la part des équipes.

Dans un service maintenance, l'organigramme montre le besoin en agents de maîtrise, techniciens des méthodes en particulier, s'appuyant sur une polyvalence large pour pouvoir gérer les actions techniques. À la base, c'est sur les conducteurs d'installation que reposent les interventions de premier

niveau. Ils sont assistés par des équipes d'intervention de maintenance composées de spécialistes à forte technicité et de compétences décloisonnées (exemple : omniprésence de l'automatisme et de l'informatique industrielle).

Le métier a donc été considérablement revalorisé, aussi bien par les qualités comportementales requises que par les outils à utiliser (GMAO, testeurs, contrôles non destructifs, télésurveillance, etc.). De façon un peu moins sensible qu'en production, l'évolution se fait dans le sens d'une perte quantitative de main-d'œuvre peu formée. Mais la demande en personnel de culture technique spécifiquement formé à la maintenance est grandissante afin de satisfaire les besoins en animation, méthodes et gestion.

➤ La nécessaire polyvalence pour tous :

La maintenance est une fonction technique. Mais pas seulement.

À tous les niveaux de responsabilité d'un service, la maintenance se caractérise par une nécessaire polyvalence, le « fait technique » devant systématiquement être piloté par une réflexion économique et sécuritaire. La culture d'origine doit être incontestablement technique; mais ce technicien doit apprendre à gérer, à animer, à informer, parfois à former ou à négocier.

Au niveau des techniciens d'intervention, cette polyvalence est requise par la forte intégration technologique que l'on trouve dans tous les systèmes évolués. La seule localisation d'une panne exige de transgresser les frontières entre les parties opératives, les commandes et leurs interfaces. Entre les domaines de la mécanique, de l'hydraulique, de l'électronique, des automatismes et de l'informatique de commande. Un domaine comme la « connectique », situé hors des apprentissages traditionnels, représente un champ de connaissance incontournable pour le dépanneur de maintenance, car c'est une source fréquente de micro défaillances.

Comme il est irréaliste de savoir tout sur tout, c'est par le travail en équipe que la complémentarité des compétences résoudra les problèmes du terrain.

Les « risques du métier »

La maintenance est d'une nature « ingrate ». Répondant à des besoins de sécurité, de protection de l'environnement, de soutien à la production, ses succès apparaissent « naturels » alors que ses quelques échecs sont criants.

La prévention des pannes ? Mais qui saura que vous avez aujourd'hui prévenu une panne, et économisé le coût de ses conséquences, puisqu'elle n'est pas arrivée ! À l'inverse, comment expliquer que le « correctif résiduel » d'une politique préventive est inévitable en terme de risque maîtrisé, mais non nul. Et donc que la panne qui arrive « au mauvais endroit et au mauvais moment » avait une probabilité d'occurrence faible, mais non nulle !

Il est donc particulièrement important en maintenance de savoir justifier une mesure préventive, et de savoir faire la preuve de son efficacité (graphes d'évolution, par exemple).

Les métiers de la maintenance

Le responsable du service

Souvent ingénieur généraliste, il est peut-être issu de la promotion interne, car le poste exige une bonne connaissance du terrain (organisation, environnement, ressources humaines et matérielles), mais aussi de la pathologie des équipements sensibles. Outre la responsabilité classique de la gestion et de l'animation d'un service technique, le poste présente plusieurs aspects particuliers.

–Le « contrôle de gestion » : l'exigence en matière de maîtrise économique des activités du service devient de plus en plus rigoureuse. Une aide extérieure peut être nécessaire à assurer cette fonction.

–La « veille organisationnelle » : la maintenance étant très évolutive, il lui faudra s'ouvrir aux organisations mises en œuvre « ailleurs », en Europe et au-delà. Pensons à la TPM et à la MBF et rappelons que la maintenance se fait avec des hommes, et que l'efficacité du travail de ces hommes dépend de l'organisation dans laquelle ils s'insèrent.

–Le management de « projets » : le chef de service sera souvent associé ou maître d'œuvre dans le management d'un ou de plusieurs projets concernant la maintenance (TPM, supervision, GMAO, ISO 9000 ou 14000, etc.).

L'ingénieur « Études et travaux neufs »

Légitimement rattachés à la maintenance, les techniciens des « travaux neufs » ont pour mission de définir, puis de mettre en place et de démarrer les nouveaux équipements, ainsi que la logistique et tous les réseaux s'y rapportant.

Attentifs à la maintenabilité, à la logistique de soutien et à la sûreté de fonctionnement (SdF), exploitant les retours d'expérience, ils rendront plus facile et plus efficace la maintenance ultérieure de ces équipements. Leur rôle devient prédominant : bien mieux que les actions a posteriori (le correctif), mieux que les actions a priori (le préventif), les actions ab initio représentent un gisement d'économies à développer.

Le technicien du bureau des méthodes de maintenance

Le bureau des méthodes est au centre des activités de la maintenance. Les agents des méthodes ont pour missions principales :

–l'exploitation des retours d'expérience en temps, en coûts et en analyse qualitative des défaillances, ces retours devant être partagés avec le terrain,

–l'amélioration des performances des équipements et des intervenants,

–la préparation des actions préventives ou correctives, ce qui implique en amont la gestion de la documentation technique, en aval la maîtrise logistique associée à ces actions.

Pour effectuer toutes ces tâches, ces agents sont « sectorisés », chacun d'entre eux étant amené à être très présent sur son site de rattachement en soutien des intervenants. À la différence des « méthodes de production », le préparateur ne peut définir son travail qu'in situ, par observation et dialogue, avant de le matérialiser au bureau des méthodes.

Les techniciens supérieurs en maintenance formés en IUT et en BTS ont vocation à devenir, après une période d'adaptation au terrain, des agents des méthodes.

Le technicien d'intervention de l'antenne de secteur

Une expertise technique avancée, adaptée aux technologies du secteur, est indispensable pour ces techniciens qui travaillent en équipe. Ils sont responsables de la surveillance, du dépannage et des réparations, ainsi que de la mise en œuvre d'améliorations et d'actions préventives. De plus, ils peuvent être amenés à former et à soutenir les opérateurs en auto-maintenance lorsque cela est nécessaire.

Le technicien de l'atelier central

Nous retrouverons ici les « vieux métiers » de l'entretien : tourneurs, soudeurs, tuyauteurs, ajusteurs, chaudronniers, mais aussi électriciens, automaticiens, etc. Ils sont chargés de la remise à niveau d'équipements « déposés » à l'atelier central. Le magasin de maintenance fournit les moyens nécessaires aux différentes spécialités.

—responsable GMAO et autres logiciels spécifiques (basé au bureau des méthodes).

Notons deux autres métiers de la maintenance, le plus souvent exercés à l'extérieur de l'entreprise :

—l'ingénieur-conseil en maintenance, expert en organisation et/ou en informatique de maintenance. Sa mission principale consiste à inspirer au management de l'entreprise des axes de changement d'organisation, à apporter une méthodologie du changement, puis à piloter la mise en œuvre du projet; le formateur en maintenance, intervenant dans des organismes de formation continue qui peuvent être privés (CEGOS), associatifs (AFNOR, AFIM, APAVE, CETIM, ADEPA, AFPA, CFPA, etc.), consulaires (CIMI) ou dérivés du public (GRETA et centres de formation continue de l'enseignement supérieur)

5 Etude de cas

5.1 Introduction

La maintenance des systèmes d'instrumentation dans les environnements hostiles des industries gazière et pétrolière représente un défi majeur pour les ingénieurs et les techniciens. Ces industries opèrent souvent dans des conditions extrêmes, telles que des températures élevées ou très basses, des atmosphères corrosives, une pression élevée et des environnements sous-marins, qui peuvent affecter la performance et la longévité des équipements.

Les systèmes d'instrumentation sont essentiels pour le fonctionnement sûr et efficace des installations gazières et pétrolières. Ils assurent la surveillance, le contrôle et l'automatisation des processus critiques, tels que l'extraction, le transport, et le raffinage des hydrocarbures. La fiabilité de ces systèmes est cruciale pour prévenir les incidents, réduire les temps d'arrêt et maintenir la productivité.

Dans cette étude de cas, nous examinerons les stratégies et les technologies utilisées pour maintenir les systèmes d'instrumentation dans le complexe GP1Z SONATRACH comme un cas d'exemple. Nous analyserons des exemples concrets de défis rencontrés et les solutions mises en œuvre pour les surmonter. L'objectif est de mettre en lumière les meilleures pratiques et les innovations qui permettent de garantir la fiabilité et la sécurité des opérations dans ces environnements exigeants.

5.2 Contexte de l'étude de cas

Le contexte de l'étude de cas repose sur la nécessité de comprendre les spécificités de la maintenance des systèmes d'instrumentation dans le complexe GP1Z SONATRACH. Ce complexe se caractérise par des conditions difficiles telles que des températures extrêmes, des vibrations, des atmosphères corrosives. La fiabilité et la disponibilité des systèmes d'instrumentation sont cruciales pour assurer la sécurité des opérations et prévenir les accidents. L'étude mettra en évidence les exigences particulières de la maintenance dans ce complexe industriel et identifiera les méthodes les plus efficaces pour garantir la performance optimale de ces systèmes.

Le cas étudié : **COMPLEXE GP1Z SONATRACH**

5.3 Description générale :

Le Complexe de liquéfaction GP1Z est situé dans la zone industrielle d'Arzew, à environ 40 km au Nord -Est d'Oran. Il s'étend sur une superficie de 120 hectares.

Les limites du complexe GP1Z sont :

- A l'Est, la centrale thermoélectrique de Mers El Hadjaj,
- A l'Ouest, les complexes GL1Z et GL2Z,
- La mer Méditerranée borde le site au Nord,
- Au Sud se trouve la route d'accès principale au site.

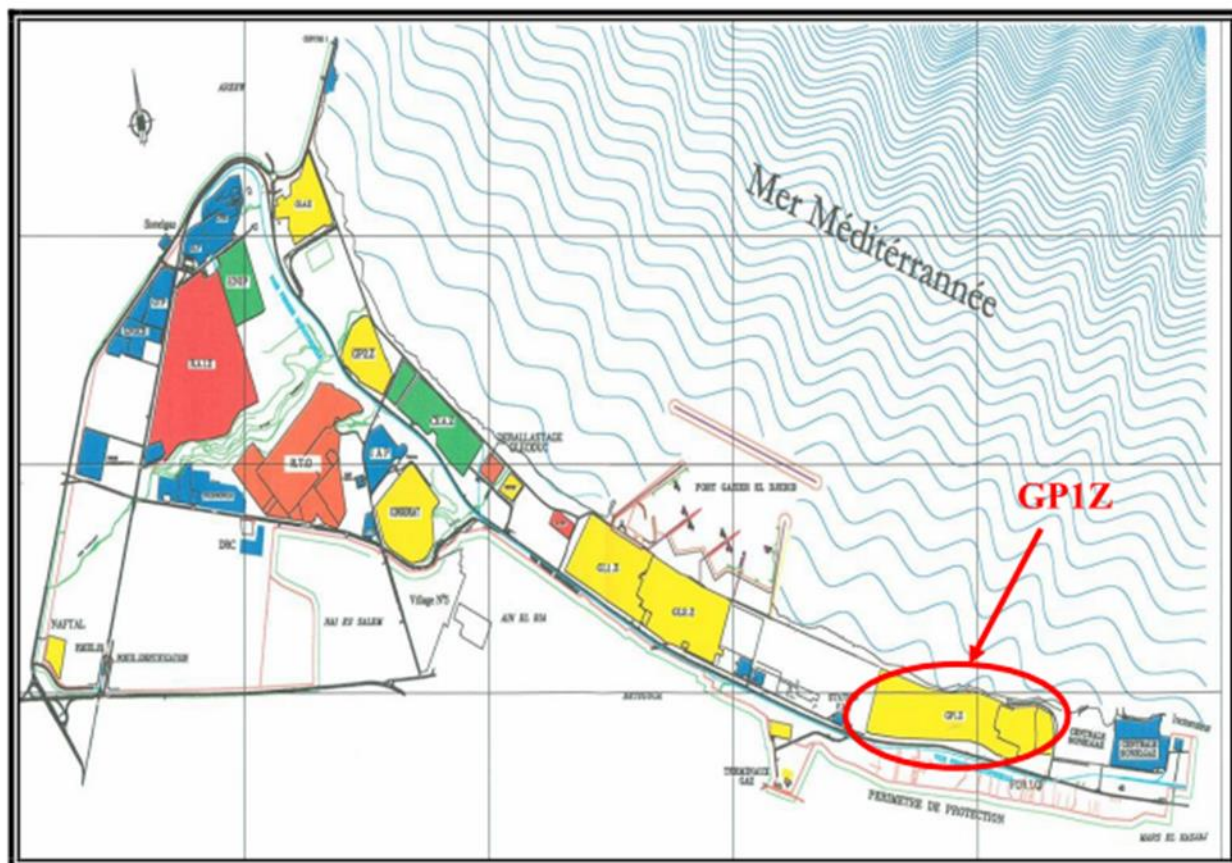


Figure 5.1 : situation géographique du complexe

Le complexe traite 6 millions de tonnes de GPL par an et produit du propane et butane liquéfiés, ainsi que du propane et butane à température ambiante.

Le complexe GP1Z est structuré autour de 6 trains identiques ou très proches :

-Phase 1 :

Stockage de la charge

Utilités

4 trains à turbocompresseur

BOG

Stockage des produits finis (températures basse et ambiante)

Expédition (chargement de camion et de navire)

-Phase 2

Stockage de la charge

Utilités

2 trains à motocompresseur (4750 MW)

-Phase 3

Unité de démercurisation

Stockage de la charge

Utilités o 3 trains à motocompresseur

BOG

Stockage des produits finis (basse température)

Organisation

Equipes techniques :

Instrumentation :

Service Instrumentation du département maintenance :

3 chefs de section, 2 ingénieurs et 15 techniciens,

Service Inspection du département technique

1 ingénieur instrumentation.

Automatismes :

Service SNCC du département technique

2 ingénieurs procédé

3 ingénieurs instrumentation

2 ingénieurs informatiques

Opérateurs : 4 équipes de quart travaillant en continu, un opérateur par train.

Un opérateur présent à la fois en 2x12, 2 jours matin et 2 jours nuit, 4 jours repos.

Sécurité/ HSE :

Pilotage par 1 chef de service et 5 ingénieurs assistés de 2 chefs de section et 8 inspecteurs.

Relations hiérarchiques : Le Département Sécurité ne dépend pas de la production, il intervient dans la chaîne d'autorisation, contrôle et validation des opérations de maintenance préventive et corrective.

Les autorisations de consignation (instrumentation) des boucles de sécurité au niveau du DCS sont conçues comme des activités d'exploitation et ne passent pas par la sécurité. Le permis de travail associé à cette autorisation de consignation (instrumentation) est en revanche visé par le service sécurité.

5.4 Présentation générale des activités de GP1Z :

Le Complexe GP1Z a pour mission la séparation, la liquéfaction et le stockage de GPL. Le Complexe est approvisionné en gaz par les champs gaziers d'Hassi R'Mel et de Hassi Messaoud. Six trains de liquéfaction produisent environ 1 Mt/an chacun. L'exportation des produits finis se fait par camions d'une capacité de 40 t ou par méthaniers de capacités allant de 4 000 à 45 000 tonnes.

5.5 Description rapide du processus de liquéfaction:

Le mélange de GPL provenant des champs gaziers arrive au complexe GP1Z par Gazoduc de 24’’ via le terminal RTO situé sur le plateau de Béthioua.

Le GPL est tout d’abord déshydraté, grâce à des sécheurs à tamis moléculaires, afin de réduire la teneur en eau à moins de 5 ppm en poids. Puis, le GPL est dirigé vers les colonnes de séparation. L’éthane et le propane se retrouvent en tête de colonne alors que le butane est situé en fond de colonne. Le butane et le propane, alors séparés, sont ensuite refroidis grâce à des échangeurs (boucle de réfrigération propane). La température du butane est de -5°C et celle du propane est de -40°C. Le butane et le propane ambiants sont dirigés vers les sphères alors que le butane et le propane refroidis sont dirigés vers les bacs de stockage pour être ensuite expédiés par navires ou par camions.

5.6 Les caractéristiques principaux qui rendent le complexe GP1Z un environnement industriel dangereux :

➤ Manipulation de Gaz Inflammables et Explosifs

Gaz naturel : Extrêmement inflammable et potentiellement explosif en cas de fuite ou de mauvais traitement.

Gaz sous pression : Les gaz comprimés peuvent causer des explosions en cas de rupture des contenants.

➤ Présence de Gaz Toxiques

Monoxyde de carbone (CO) : Peut être produit lors de la combustion incomplète du gaz naturel et est mortel en cas d'inhalation..

➤ Risques de Fuites et d'Explosions

Fuites de gaz : Les fuites peuvent conduire à des explosions dévastatrices, des incendies et des émissions de gaz toxiques.

Ruptures de pipeline : Un accident de pipeline peut avoir des conséquences graves, y compris des explosions et des incendies.

➤ Risques Mécaniques et Électriques

Machinerie lourde : Les opérations nécessitent l'utilisation de machines complexes et lourdes, augmentant les risques d'accidents mécaniques.

Risque électrique : L’environnement humide et corrosif peut entraîner des risques électriques, comme les courts-circuits et les incendies.

Stress et Pression Opérationnelle

Cadence de travail élevée : Les exigences de production et les délais serrés peuvent entraîner du stress et des erreurs humaines.

5.7 Accidentologie GP1Z :

La survenue d'incidents et d'accidents est fortement liée aux caractéristiques physico-chimiques du GPL, qui est un gaz inflammable et explosif. Les phénomènes dangereux à craindre sont :

- Un feu torche (ou feu de nappe),
- Une explosion de gaz ou de vapeurs,
- Le BLEVE d'une capacité.

Les incidents les plus fréquents sur les installations GPL sont :

- Les petites fuites de GPL sur les installations de transfert, des tubes des aéroréfrigérants, des joints, des piquages d'instrumentation.
- Les feux (feu de broussaille, court-circuit électrique, feu de moteur de véhicule, feu de pneus, feu suite à erreur humaine lors des opérations de maintenance, feu de matières inflammables accumulées au niveau de l'accouplement d'un turbocompresseur),
- Les agressions mécaniques (manœuvres des engins de manutention et de levage, détachement de citerne de camion),
- Le dysfonctionnement des détecteurs de gaz et de flammes.

5.8 Risques liés aux produits :

De par la nature et la quantité des différents produits stockés et utilisés sur le site, nous pouvons conclure que le principal risque est le potentiel inflammable. En effet, les différents gaz (GPL brut, éthane, butane, propane, gaz naturel) présents sur le site, sont classés « Extrêmement inflammables ».

5.9 L'Instrumentation Industrielle Utilisée dans le complexe :

L'instrumentation industrielle joue un rôle crucial le complexe GP1Z et l'industrie gazière généralement, où la précision, la fiabilité et la sécurité des opérations sont primordiales. Les instruments sont utilisés pour surveiller, contrôler et automatiser les processus tout au long de la chaîne de valeur du gaz, de l'extraction au transport et à la distribution. Voici un aperçu détaillé des principaux types d'instruments et de leurs applications spécifiques dans l'industrie gazière.

Capteurs de Pression : Les capteurs de pression sont essentiels pour mesurer la pression des gaz dans divers points du processus, notamment dans les puits de gaz, les pipelines et les installations de traitement.

Manomètres : Fournissent des lectures locales de la pression, permettant aux opérateurs de vérifier rapidement l'état des systèmes.

Capteurs de Température : Les capteurs de température sont utilisés pour surveiller les températures dans les réservoirs, les pipelines et les équipements de traitement.

Thermocouples et RTD (Resistance Temperature Detectors) : Mesurent la température des gaz et des équipements, garantissant que les processus se déroulent à des températures optimales.

Transmetteurs de température : Convertissent les signaux des capteurs en données utilisables pour le contrôle et la surveillance.

Détecteurs de Gaz

Les détecteurs de gaz sont cruciaux pour la sécurité, car ils permettent de détecter la présence de gaz inflammables ou toxiques dans l'environnement de travail.

Détecteurs de méthane : Spécifiquement conçus pour détecter les fuites de gaz naturel, minimisant ainsi le risque d'explosion.

Détecteurs d'H₂S : Utilisés pour identifier la présence d'hydrogène sulfuré, un gaz toxique couramment présent dans les champs de gaz naturel.

Débitmètres

Les débitmètres mesurent la quantité de gaz qui passe à travers un point donné dans un pipeline ou un système de traitement.

Débitmètres à ultrasons : Utilisés pour des mesures précises sans contact avec le gaz, adaptés aux grands pipelines.

Débitmètres Coriolis : Offrent une mesure directe de la masse du gaz, indépendamment de la température et de la pression.

Débitmètres à turbine : Utilisés pour les applications nécessitant une mesure précise du volume.

Analyseurs de Gaz

Les analyseurs de gaz mesurent la composition du gaz naturel et détectent les impuretés.

Chromatographes en phase gazeuse : Séparent et analysent les composants du gaz naturel pour garantir la qualité du produit.

Analyseurs de dioxyde de carbone (CO₂) et d'humidité : Mesurent les niveaux de CO₂ et d'humidité pour prévenir la corrosion et d'autres problèmes de qualité.

Systèmes de Contrôle et d'Automatisation

Les systèmes de contrôle et d'automatisation permettent de surveiller et de réguler les processus gaziers de manière centralisée et efficace.

Systèmes de contrôle distribués (DCS) : Centralisent le contrôle des processus, améliorant la coordination et la réponse rapide aux changements de conditions.

Automates programmables industriels (API) : Utilisés pour l'automatisation des processus spécifiques, tels que l'ouverture et la fermeture des vannes..

Les vannes :

Les vannes contrôlent le flux de gaz à travers les pipelines et les équipements de traitement.

Vannes à bille et à papillon : Utilisées pour ouvrir ou fermer le flux de gaz, offrant un contrôle précis.

Actionneurs pneumatiques et électriques : Actionnent les vannes de manière automatisée, souvent intégrés aux systèmes de contrôle pour des opérations à distance.

Systèmes de Sécurité

Les systèmes de sécurité sont intégrés pour protéger les installations et les travailleurs contre les dangers potentiels.

Systèmes de détection d'incendie et de gaz (F&G) : Détectent et réagissent automatiquement aux fuites de gaz et aux incendies, déclenchant des alarmes et des mesures de sécurité.

Calculateur Emergency shut down (ESD) : Permettent de déclencher un arrêt d'urgence en cas de dysfonctionnements d'un élément principale

5.10 Architecture de contrôle et de commande

Le contrôle commande est basé sur un SNCC Honeywell TDC3000

Les sécurités sont gérées par des automates Triconex série Tricon. Ils n'utilisent que des cartes d'entrées TOR et de sorties TOR ainsi que des coupleurs RS422/Ethernet pour la communication avec le TDC3000. Aucune fonction de redondance des cartes d'entrées/sorties n'est utilisée mais les cartes sont TMR. En cas de perte totale d'une carte, l'automate déclenche les fonctions associées. En cas de perte d'un CPU (tripliqué), l'automate déclenche au bout d'un temps prédéfini si la carte en panne n'a pas été remplacée entretemps.

La répartition des automates sur le complexe est la suivante :

- 1 automate pour chaque train phase 1 (train 100, 200, 300 et 400)
- 1 automate pour les utilités phase 1
- 1 automate pour chaque train phase 2 (train 500 et 600)
- 1 automate pour la section BOG

La gestion de la sécurité des utilités phase 2 est dupliquée sur les automates des trains 500 et 600.

Il existe trois sous systèmes d'archivage des événements (SOE/SER – sequence of events/sequence of events recorder) permettant d'identifier des premiers défauts. Leur précision n'est pas connue et il n'est donc pas possible de définir s'ils sont capables de traiter des avalanches sur des phénomènes électriques (précision/discrimination usuelle nécessaire de 1 ms).

Le premier regroupe les événements enregistrés par les 5 automates de la phase 1, le second enregistre les événements qui se sont produits sur les 2 automates phase 2 et le troisième enregistre les événements qui se sont produits sur l'automate BOG.

Les automates renvoient toutes les alarmes vers le SNCC ou vers des annonceurs d'alarmes locaux (sonores et/ou visuelles). Le SNCC possède son propre système d'archivage appelé PHD (Process Historic Database) basé sur les modules HM de Honeywell.

Le contrôle commande des 4 turbocompresseurs est réalisé dans 4 packages Sulzer Turbo identiques structurés autour d'automates Siemens S7-400 pilotant un contrôleur anti-pompage AGC de Sulzer. Les sécurités de vibrations (compresseur et turbines) sont prises en charge par un automate Bentley-Nevada (cette automate ne fait partie d'aucune boucle sélectionnée pour l'étude SIL).

La conduite des 9 trains (à terme) se fait depuis une salle de contrôle unique. Il existe un concept de PSD (Process ShutDown) implémenté dans le SNCC indépendant de l'ESD (Emergency ShutDown) implémenté dans les automates Tricon. Ces fonctions ne servent que pendant les transitoires. Leur relation avec les SIFs n'a pas été analysée.

Les SIFs sont actives en permanence.

Le Feu et Gaz n'est pas traité dans l'ESD.

Le réarmement de l'ESD est global après un déclenchement.

Des arrêts manuels existent en parallèle au niveau des zones du procédé et pas au niveau des SIFs.

Les sécurités des bras de chargement et des chaudières sont réalisées en logique câblée et ne sont pas prises en compte par les automates Tricon.

5.11 Adaptation du matériel aux conditions d'environnement

Ambiance température hygrométrie : les salles sont climatisées. De ce fait les salles sont propres et à température et hygrométrie contrôlée.

Protection d'accès Portes des locaux et armoires électriques fermées à clefs. Consoles de programmation dans des locaux dédiés.

Prise en compte des perturbations électromagnétiques (CEM)

Initiale : tous les équipements ont été installés dans des armoires métalliques avec mise à la terre.

Evolutions: Les équipements installés à partir de 1982. Les matériels et les techniques de câblage sont visuellement conformes aux pratiques CEM.

Autres: Aucun équipement de puissance n'est installé dans ces locaux.

Fiabilité des alimentations électriques

Chaque automate est alimenté par 2 sources de courant indépendantes. En cas de problème sur une source, il y a commutation automatique. Un problème d'alimentation est survenu dans le passé avec le blocage des entrées en position fermée empêchant même la prise en compte des ordres manuels de déclenchement. Ce problème a été résolu par Triconex en remplaçant toutes les alimentations électriques par un nouveau modèle.

Séparation des câblages de puissance et contrôle commande

Tous les câblages de contrôle commande en cuivre sont des câbles blindés avec mise à la terre des blindages.

Chemins Les fibres optiques redondantes du réseau TDC 3000 sont dans un seul cheminement.

5.12 Interface homme machine

Connaissance de l'état du procédé :

-La connaissance des états attendus du procédé, notamment dans les modes dégradés, est empirique.

Information disponible à la conduite pour diagnostic :

-Le système fournit un consigneur d'état sur support informatique.

-Les pages écran de diagnostic permettent de connaître l'état des équipements du SNCC et de l'ESD.

-Le diagnostic procédé se fait sur la base des alarmes et des variables analogiques.

Procédure de redémarrage après incident et arrêt :

-Réinitialisation et démarrage normal.



Figure 5.2 :Interface homme machine

5.13 La maintenance dans GP1Z

Maintenance Corrective :

La maintenance corrective est gérée par le service maintenance avec le logiciel GATIOR. GATIOR signifie G (maintenance), A (approvisionnement), T (technique), I (sécurité), OR (oracle). Tous les travaux de maintenance sont programmés : 80% en préventif (systématique) et 20% en correctif ou curatif. Elles sont réalisées par les « Crafts » lors des arrêts de train ou d'équipement.. On peut cependant noter qu'il a été fait mention plusieurs fois durant les échanges en réunion et lors des

visites sur le complexe, des difficultés inhérentes aux délais très longs (entre 6 mois et 1 an quelques fois) d'approvisionnement des pièces de rechange.

Documentation :

La documentation au GP1Z existe au niveau de toutes les structures (Maintenance, Production, Technique, Sécurité, etc.). On peut trouver les manuels opératoires, les catalogues mécaniques, les instructions de maintenance. Quelques données documentaires, PID et système GATIOR par exemple, sont disponibles et utilisées quotidiennement. Bien que ces documents semblent à jour, aucun moyen fiable de s'en assurer n'est employé sur le complexe GP1Z à ce jour. Un projet est en cours pour numériser tous les documents (PID's, etc.) On notera qu'aucune « documentation spécifique sur les EIPS » n'existe à ce jour.

Retour d'expérience(REX) :

L'information du retour d'expérience existe sous forme de rapports ou de données brutes (exemple : rapports d'intervention de la maintenance, historique des pannes et des actions correctives apportées, données du logiciel GATIOR...). On notera qu'aucune donnée de retour d'expérience pour les EIPS exploitable dans un délai raisonnable n'existe pour l'instant sur GP1Z

Maintenance Préventive :

La maintenance préventive est gérée par le service maintenance avec le logiciel GATIOR. Les opérations de maintenance préventive sont effectuées durant les arrêts programmés. Il existe 3 types d'arrêt.

Type E1 de 05 jours environ. Ce sont essentiellement des opérations de maintenance préventive qui sont effectuées.

Type E2 de 10 jours environ, programmé habituellement annuellement. Ce sont essentiellement des opérations de vérification et de maintenance préventive simples qui sont effectuées.

Type E3 de 35 jours environ. Ce sont des opérations de démontage, d'entretien et de maintenance préventive qui sont effectuées.

Les opérations de maintenance préventives représentent 80% de la maintenance, le reste, 20%, sont des opérations de maintenance curatives.

L'équipe de maintenance est constituée de «Crafts » (équipes d'interventions spécialisées). Certains travaux sont sous-traités au près des filiales SOMIZ & SOMIK ainsi qu'à d'autres sociétés privées étrangères ou nationales.

Les arrêts programmés sont pilotés par un planning de 35 jours et une équipe spéciale est mise en place pour gérer cet arrêt. L'élaboration d'un arrêt prend 12 mois de préparation.

Les opérations concernant les EIPS ne sont pas incluses en priorité dans les actions à mener durant les arrêts.

Inspections :

Inspections programmées

Les inspections réglementaires programmées sont gérées par le service TI (Technique inspection). Le service TI transmet la liste des équipements à inspecter à la maintenance pour les arrêts. Les soupapes sont ainsi inspectées régulièrement (inspection systématique). Le démontage est confié à la société sous-traitante « SOMIZ », l'inspection est confiée à la société « ISQ ». Le service TI gère le tarage des soupapes selon un planning décennal (la réglementation algérienne prévoit un tarage des soupapes chaque trois ans). Les inspections concernant les EIPS ne sont pas incluses en priorité dans les actions à mener durant les arrêts par le service TI. Ce point fait l'objet de recommandations dans

Inspections non programmées : Aux demandes de travaux d'inspections programmées sont ajoutées les demandes de travaux qui font suite à des rapports d'anomalies. Au cours de l'utilisation, des rapports d'anomalies viennent alimenter la liste des demandes de travaux. Ces demandes sont classées par priorité par le service TI. Les inspections non programmées concernant les EIPS ne sont pas incluses en priorité dans les actions à mener durant les arrêts par le service TI

Analyses des risques potentiels du complexe GP1Z

Une étude de dangers a pour but :

- d'exposer les dangers que peuvent présenter les installations en décrivant les principaux accidents susceptibles d'arriver, leurs causes (d'origine interne ou externe), leur nature et leurs conséquences ; -
- de préciser et justifier les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents à un niveau jugé acceptable par l'exploitant ; -
- de décrire le système de gestion de la sécurité (SGS) mis en place sur le site et détailler la consistance et les moyens de secours internes ou externes mis en œuvre en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre.

Méthodologie d'une analyse de risques :

L'identification des potentiels de dangers :

Cette 1ère étape de l'analyse des risques a pour objectifs de recenser, de façon exhaustive, les potentiels de dangers d'une unité. Elle se base sur :

- a. l'examen des propriétés et quantités des produits présents sur le site, et des dangers (par typologie) qui en découlent (incendie, explosion, toxique),
- b. l'analyse du retour d'expérience réalisée au préalable (accidents survenus sur l'installation ou sur des installations similaires),

L'analyse des risques externes d'origine naturelle et non naturelle :

Cette 2ème étape de l'analyse des risques a pour objectifs : a. d'inventorier les événements externes de type naturel (foudre, séisme, ...) ou humain (activités industrielles, infrastructures, ...) de

l'environnement du site, susceptibles d'être la cause d'un accident sur les installations étudiées, b. d'identifier, parmi ces événements, ceux à retenir comme événements initiateurs dans l'analyse préliminaire des risques.

L'évaluation préliminaire des risques :

Cette 3ème étape de l'analyse des risques vise à : a. identifier les événements redoutés, leurs causes (événements initiateurs) et leurs conséquences (phénomènes dangereux et effets engendrés), a. lister les mesures de prévention, de détecteur et de protection ou limitation prises ou envisagées, b. évaluer les classes de probabilité d'occurrence et de gravité, ainsi que la cinétique de chaque phénomène dangereux identifié, c. sélectionner les phénomènes dangereux majeurs, c'est-à-dire susceptibles de conduire à des effets en dehors du site ou d'impacter un nombre significatif de personnes, et devant, de ce fait, faire l'objet d'une analyse détaillée des risques.

L'analyse détaillée des risques :

Cette 4ème et dernière étape de l'analyse des risques a pour objectifs : a) de démontrer la maîtrise des risques pour chacun des accidents majeurs retenus à l'étape précédente :

- identifier toutes les combinaisons de causes et les séquences accidentelles ; pour ce faire chaque événement redouté est représenté sous forme de nœud papillon,
- identifier et caractériser les Mesures de Maîtrise des Risques (MMR) ;

la caractérisation des MMR consiste d'une part à vérifier que ces mesures satisfont les critères d'indépendance, efficacité et temps de réponse, d'autre part à allouer le niveau de confiance (NC) nécessaire pour ces barrières (probabilité de défaillance) b) de quantifier la probabilité et la gravité (via la modélisation des effets), compte tenu des MMR retenues c) de proposer des mesures d'amélioration complémentaires si besoin est, d) de définir les Mesures de Maîtrise des Risques prépondérantes qui seront retenues comme éléments Importants pour la Sécurité

Tableau 5.1 :Tableau d'analyse APR de la sphère de stockage produit [14]

	RISQUES	DERIVES	CAUSES	CONSEQUENCES	Risque potentiel				MESURES DE MAITRISE DES RISQUES	C	Risque résiduel				MESURES COMPLEMENTAIRES DE MAITRISE DES RISQUES	C	Risque résiduel				IPS	E	COMMENTAIRES				
					Pp	Pp	N	Gp			N	Rp	actuel	N			Gr	Rr	N	futur				Pr	Gr	Rr	N
Sphère de stockage produit : 02-T-0024 à 0027																											
	Augmentation du niveau		Défaillance du LT-0151.	Surremplissage de lasphère. Augmentation de pression Jusqu'à la pression maxi du train (24,5 bar tarage soupape dééthaniseur) Risque d'éclatement de joint Formation d'un nuage de gaz inflammable Risque d'explosion	6. 1E-02	5	C	II	PAH-152 alarme + action opérateur LAHH-0161 alarme + action (fermeturevanne d'entrée) PIC-0152, ouvre la vanne PV-0152 Soupape vers torche HP SV-0151-A/B		1		I								O	LAHH-0161 SV-0151-A/B					
	Augmentation du niveau		Erreur d'affectation de sphère (sphère en réception déjà pleine)	Surremplissage de lasphère. Augmentation de pressionJusqu'à la pression maxi du train (24,5 bar tarage soupape dééthaniseur) Risque d'éclatement de jointFormation d'un nuage de gaz inflammable Risque d'explosion	6. 1E-02	5	C	II	LAH-0151 alarme + action opérateur PAH-152 alarme + action opérateur LAHH-0161 alarme + action (fermeturevanne d'entrée) PIC-0152, ouvre la vanne PV-0152 Soupape vers torche HP SV-0151-A/B		1		I								O	LAHH-0161 SV-0151-A/B					
	Diminution du niveau		Défaillance du LT-0151.	Baisse de niveau trop rapide en phase chargement Risque de cavitation de lapompe 07-P-0043/0044 Pas de risque de collapsede la sphère (pression minimum = pression de vapeur à T° produit)	6. 3E-02	5	A	I	PDAL-0168 alarme + SD pompes PAL-0153 alarme + action du PIC-0153ouvre PV-0153		4										N		Sphère non équipée de clapet hydraulique interne (non conforme avec la réglementation française) Vérifier température miniacceptable par la sphèreau niveau métallurgie et pression				

Dans le cadre de l'étude de dangers du complexe GP1Z, les potentiels de danger identifiés sont des relâchements massifs à l'atmosphère de produits inflammables suite à une perte de confinement d'une capacité ou d'une canalisation pouvant conduire à :

- un jet enflammé,
- la formation d'un nuage de gaz inflammable,
- un feu de nappe.

APR et HAZOP :

L'évaluation préliminaire des risques, au travers des méthodes APR et HAZOP, permet :

- d'identifier les événements redoutés, leurs causes (événements initiateurs) et leurs conséquences (phénomènes dangereux et effets engendrés),
- de lister les mesures de prévention, de détecteur et de protection ou limitation prises ou envisagées,
- d'évaluer les classes de probabilité d'occurrence et de gravité, ainsi que la cinétique de chaque phénomène dangereux identifié,
- de sélectionner les phénomènes dangereux majeurs, c'est-à-dire susceptibles de conduire à des effets en dehors du site, et devant, de ce fait, faire l'objet d'une analyse détaillée des risques.

Elle a été conduite en groupe de travail pluridisciplinaire constitué de représentants de SONATRACH AVAL et de deux personnes de BUREAU VERITAS spécialistes en analyse de risques.

Scénarios majeurs identifiés :

Suite à l'analyse préliminaire des risques (APR et HAZOP), des scénarios ont été sélectionnés, en fonction de leur gravité, pour être étudiés en Analyse Détaillée des Risques (ADR). Ces scénarios sont les suivants :

Tableau 5.2 : Scénarios des phénomènes dangereux

Evénements redoutés	Phénomènes dangereux
Perte de confinement sur la section d'arrivée et de stockage de la charge	UVCE, Flash Fire, Jet enflammé, BLEVE
Perte de confinement sur la section de déshydratation	UVCE, Flash Fire, Jet enflame
Perte de confinement sur la section de separation	UVCE, Flash Fire, Jet enflame
Perte de confinement sur la section de refrigeration	UVCE, Flash Fire, Jet enflammé, feu de nappe
Perte de confinement sur la section bacs de stockage	UVCE, Flash Fire, Jet enflammé, feu de nappe
Perte de confinement sur la section sphères sous pression et chargement camion	UVCE, Flash Fire, Jet enflammé, BLEVE
Perte de confinement sur la section BOG	UVCE, Flash Fire, Jet enflame

Pour chaque phénomène dangereux, les scénarios rupture totale de la capacité et brèche 50% ont été étudiés.

Récapitulatif des mesures d'améliorations identifiées lors de l'évaluation préliminaire des risques : [15]

Remarque :

On a choisi la section de sphère de stockage produit comme un exemple

Tableau 2.3 : Tableau de Récapitulatif des mesures d'améliorations identifiées lors de l'évaluation préliminaire des risques

Section	N°	Maille	Actions/ Remarques
Stockage produits finis sphères sous pression et chargement camions	7	Sphère produit fini T-0024 à 27 Bras de chargement	<p><u>Stockage produits finis GPL</u> : mettre en place un plan d'inspection des supports des sphères.</p> <p><u>Bras de chargement</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Remplacement des bras actuels par des bras plus sûrs, -pour isoler les fuites, installer une vanne de pied de bras asservie à une détection de fuite, au bouton d'arrêt d'urgence et de rupture de continuité à la terre, <p><u>Zone de chargement de camions</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Prévoir un système de lutte incendie adapté (arrosage automatique et skids à poudre). -Prévoir un arrêt de chargement automatique asservi à la détection de fuite de gaz et d'incendie -Délocaliser la zone de chargement de camions, actuellement située à proximité des réservoirs de GPL.

:

Analyse détaillé des risques / Matrice de criticité

Tableau 5.4:explicatif d'échelle de gravité

Niveau de gravité	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
5. Désastreux	Plus de 100 personnes exposées ⁽¹⁾	Plus de 1000 personnes exposées	Plus de 10 000 personnes exposées
4. Catastrophique	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées	Entre 1 000 et 1 0000 personnes exposées
3. Important	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
2. Sérieux	Au plus 1 personne exposée	Au plus 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
1. Modéré	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées

⁽¹⁾ Personnes exposées : **personnes exposées**, en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.

Quantification de la probabilité :

Les sources des données utilisées pour la quantification de la probabilité sont les suivantes :

- les probabilités d'occurrence des ERC proviennent de banques de données probabilistes (« Purple Book », TNO) ;
- les probabilités de défaillance des mesures de protection, détection et mitigation sont estimées en attribuant un niveau de confiance à ces barrières.

Echelle de probabilité :

Tableau 5.5 Tableau explicatif d'échelle de probabilité

Echelle	1 (E)	2 (D)	3 (C)	4 (B)	5 (A)
	Possible mais extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Qualitative	N'est pas impossible vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	S'est déjà produit dans secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	S'est déjà produit et/ou peut se reproduire pendant la durée de vie de l'installation	S'est produit sur site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctrices

Quantitative (par unité et par an)	$F < 10^{-5}$	$10^{-4} > F > 10^{-5}$	$10^{-3} > F > 10^{-4}$	$10^{-2} > F > 10^{-3}$	$F > 10^{-2}$

Matrices de criticité :

Rappel des sections :

Tableau 5.6 : Rappel sur les sections GP1Z

Numéro section	Nom de la section
1	Section d'arrivée et de stockage de la charge
2	Section de déshydratation
3	Section de séparation
4	Section de réfrigération de propane et de butane
6	Bacs de stockage produits finis réfrigérés
7	Stockage produits finis sphères sous pression et chargement camions
8	Récupération du BOG
9	Chargement navires
10	Utilités gaz naturel

Matrice 50%

Tableau 5.7 : Matrice gravité

Gravité	Probabilité				
	1 (E)	2 (D)	3 (C)	4 (B)	5 (A)
5. Désastreux		2	1, 4, 6, 9		
4. Catastrophique		10	3, 7		
3. Important					
2. Sérieux					
1. Modéré			8		

Mesures de maîtrise des risques (MMR) :

La performance des différentes barrières a été évaluée au niveau de l'efficacité, du temps de réponse et du niveau de confiance.

Ainsi, les barrières identifiées comme MMR par l'analyse détaillée de risques sont :

- les soupapes RV,
- les systèmes de détection de vibration et des déplacements axiaux des compresseurs,
- les sécurités de niveau haut,
- la surveillance de la température des bacs de stockage de GPL réfrigéré,
- le plan d'inspection des équipements et tuyauteries,
- les cuvettes de rétention.

Plan d'action / Mesures recommandées :

Propositions techniques :

Axes de réflexion :

- Mise en place d'automatismes de mise en sécurité des installations adaptés à l'occurrence des phénomènes dangereux (dispositifs d'isolement);
- Mise en place de moyens de surveillance d'alerte et d'intervention au niveau des canalisations de chargement de navires ;
- Mise en place de balises renforcées et de protections contre les agressions mécaniques des véhicules et des engins de chantier ;
- Mise en place de mesures de maîtrise des risques liées aux opérations de maintenance et de redémarrage ;
- Surveillance de la corrosion des pieds de sphère ;
- Contrôle des travaux de maintenance ;
- Gestion des By-pass ;
- Remplacement préventif des parties mobiles des bras de chargement de GPL.

Mesures organisationnelles :

Axes de réflexion :

- Réduction des potentiels de dangers (transfert de la zone de chargement camions vers une zone plus « sûre ») ;
- Formation en continu des opérateurs sur les aspects sécurité, recyclage ;
- Inspection, contrôle et entretien des éléments définis comme « importants pour la sécurité » dans l'étude de dangers ;
- Inspections périodiques des clapets anti-retour ;
- Respect des standards DCS en salle de contrôle

La relation entre la sécurité et l'instrumentation :

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) a permis de fournir une liste d'Eléments Importants Pour la Sécurité (EIPS). L'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) des EIPS a été réalisée à partir de cette liste ainsi que de renseignements collectés sur plusieurs jours en groupe de travail. La récupération d'informations nécessaires à l'étude a été difficile du fait de participants peu disponibles et changeants d'une demi-journée de travail sur l'autre. La création de groupes de travail n'a pas été possible sur GP1Z. Les individus dotés des compétences requises ont reçu à chaque fois la formation et la sensibilisation minimum à la méthodologie AMDEC. Pourtant, la démarche menée pour la réalisation de l'AMDEC a permis de mettre en évidence certains points critiques. A l'issue de cette analyse, des préconisations d'amélioration sont proposés afin d'atteindre un niveau de criticité acceptable. Les analyses fonctionnelles internes des EIPS ont été réalisées à partir de documents décrivant le système (PID) ainsi qu'à partir des informations fournies lors des réunions de travail sur le complexe GP1Z. L'audit réalisé semble donc couvrir l'ensemble des EIPS de GP1Z dans leur généralité

5.14 Intégration des éléments important pour la sécurité dans des chaînes de sécurité automatiques (Maintenance prédictive)

Les analyses fonctionnelles permettent d'identifier les éléments composant ces chaînes. Principe général des chaînes de sécurité L'analyse APR a fait ressortir un certain nombre d'EIPS qui peuvent être considérés comme des chaînes de sécurité. Sur le complexe GP1Z, on distingue 2 types de chaînes de sécurité :

1. Les chaînes de sécurité automatiques

La mise en sécurité est assurée sans intervention humaine. Le principe général de ces chaînes de sécurité peut être présenté comme suit:

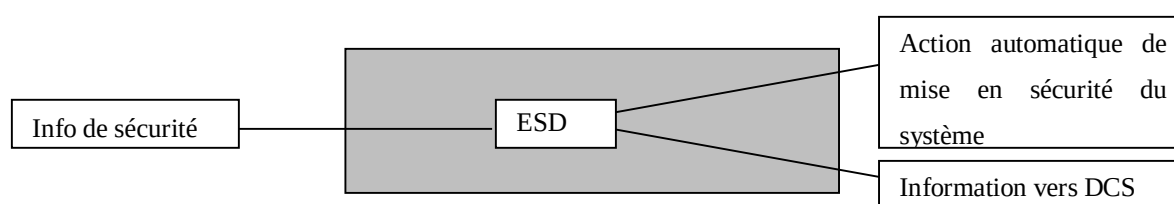


Figure 5.3: chaîne de sécurité automatique

Les chaînes de sécurité avec intervention humaine:

La mise en sécurité est assurée grâce à une intervention humaine. Le principe des chaînes de sécurité avec action opérateur peut être présenté comme suit:

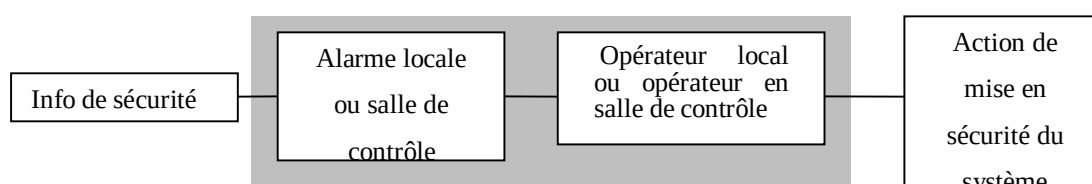


Figure 5.4: chaîne de sécurité avec intervention humaine

Calculateur ESD

Un calculateur ESD, Emergency Shut Down, est un système électronique qui est constitué d'une alimentation, d'une carte entrée, d'un processeur (CPU) et une carte de sortie. D'une manière générale, l'ESD reçoit un signal de sécurité, le traite et renvoie deux signaux, l'un vers un actionneur (switch de coupure moteur par exemple) pour action immédiate, l'autre vers le DCS pour information des opérateurs en salle de contrôle. Dans le cas d'une perte d'alimentation électrique,

l'ESD déclenche la mise en sécurité du système automatiquement. Un ESD suit le principe de fonctionnement décrit dans le schéma suivant:

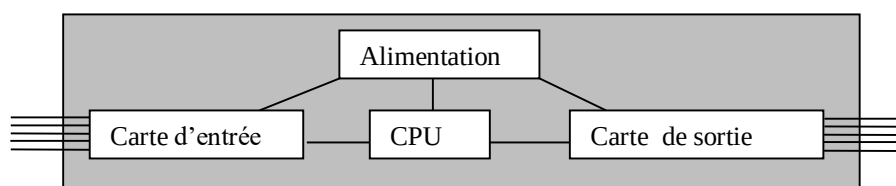


Figure 5.5: composants ESD

Chaînes de sécurité liées aux capteurs de niveau, de température, de pression ou de débit Les chaînes de sécurité liées aux capteurs de niveau, de pression de température ou de débit sur GP1Z sont de deux types.

Chaînes de sécurité automatiques :

Un capteur détecte une variation trop importante du paramètre qu'il mesure. Ce capteur, via un transmetteur si besoin, ouvre la chaîne de faible intensité directement vers le PLC TRICONEX. Ce dernier met en sécurité les installations suivant une logique prédéterminée et informe le DCS via une communication MODBUS. Concernant les pompes, les logiques de démarrage se trouvent au niveau DCS et les logiques de sécurité au niveau PLC TRICONEX. Ci-dessous, un exemple de chaîne de sécurité automatique sur un EIPS lié à un capteur de niveau.

LAHH-1207

Fonction principale : Prévenir l'envoi de liquide dans le compresseur 02-C-1001 et la casse du compresseur.

En cas d'augmentation du niveau du ballon d'aspiration 02-V-1007 le capteur de niveau LSHH1207 ouvre la chaîne de faible intensité via le transmetteur LT1207, envoie un signal à l'ESD qui donne l'ordre de fermeture de l'alimentation de la turbine à gaz 02-C-1001.

Sur ces chaînes de sécurité, il n'y a pas d'action de l'opérateur attendue pour la mise en sécurité.

Chaînes de sécurité avec action opérateur :

Un capteur détecte une variation trop importante du paramètre qu'il mesure. Ce capteur déclenche une alarme sonore et visuelle locale ou déportée en salle de contrôle. Un opérateur met alors le système en sécurité. Cela peut être en agissant sur un élément du système (fermeture d'une vanne, par exemple), le déclenchement d'un automatisme (arrêt d'urgence, par exemple), ou l'envoi d'un opérateur sur place afin de réaliser une procédure de sécurité (extinction par exemple). Ci-après, un

exemple de chaîne de sécurité avec action opérateur sur un EIPS lié à un capteur de niveau. FSL-5851/5852 Sécurité de débit bas au niveau de la torche HP 14-F0701 A/B

Fonction principale : Prévenir la formation d'une ATEX dans le réseau torche HP En cas de bas débit au niveau de la torche HP14F0701A/B,

Le capteur de débit FSL5851/5852 envoie un signal d'alarme de débit bas vers le DCS pour action par l'opérateur. L'opérateur réalise alors les actions de mise en sécurité du système. Il n'y a pas d'action automatique sur cet équipement de sécurité. Sur ces chaînes de sécurité, une action de l'opérateur est attendue pour la mise en sécurité. Les EIPS appartenant à des chaînes de sécurité avec action opérateur sont listés dans les tableaux suivants.

Chaînes de sécurité de protection des machines tournantes :

Les chaînes de sécurité de protection des machines tournantes sont des chaînes automatiques qui réalisent leurs mises en sécurité de manière complexe et multiple.

Un déclenchement initié par une détection de survitesse, de vibration radiale ou de déplacement axial des axes des compresseurs et turbines entraîne :

La coupure de l'alimentation en gaz combustible est assurée par des vannes TOR (XV).

La fermeture de plusieurs vannes VFR (XV12 - BP, XV13 - MP, XV14 – HP, XV15 refoulement HP),

L'ouverture de la vanne XV16 de dépressurisation du compresseur.

La logique de déclenchement du compresseur propane est implémentée au niveau de l'automate programmable SIEMENS.

Pour la détection de vibration, une seule sonde peut déclencher le système mais la mesure de vitesse du turbocompresseur est assurée par deux capteurs de vitesse pour raison de redondance. Le déclenchement est provoqué par le signal de sécurité fourni par la carte d'acquisition de vitesse SMB. Parmi ces paramètres de déclenchements, on cite quelques exemples:

- SD arrêt normal au tableau
- SD arrêt urgence bouton poussoir tableau
- SD arrêt urgence bouton poussoir turbine
- SD arrêt urgence bouton poussoir compresseur
- SD arrêt urgence externe
- LSLL1402 huile d'étanchéité réservoir surélevé niveau trop bas.

-Vibration trop forte de la turbine de charge VDM101

-Température palier radial 1/2 /3/4 trop haute

Chaînes de sécurité liées aux soupapes :

Les soupapes du complexe GP1Z étudiées dans ce document sont de type conventionnel mécanique à ressort poussé. Leur tarage de déclenchement est différent pour chaque soupape et correspond aux exigences industrielles et de sécurité. Elles réalisent leur fonction automatiquement, sans intervention humaine, en totale autonomie, sans recevoir ni émettre d'information. Les gaz et liquides qui passent par ces soupapes sont évacués si besoin (gaz inflammables par exemple) dans des tuyauteries adaptées vers des filières recyclage ou d'élimination (torches par exemple). A la suite des réunions de travail menées pour réaliser cette étude, il n'a pas été détecté de soupapes différentes du cas général décrit au-dessus. Un grand nombre de soupapes sont considérées dans cette analyse comme des EIPS.

Chaînes de sécurité avec traitement particulier :

Les chaînes de sécurité avec traitement particulier sont des chaînes automatiques qui réalisent leurs fonctions de sécurité avec des logiques de déclenchement et de mise en sécurité spécifiques. Pour les détecteurs flamme au niveau de la turbine 02-CT-1001, une logique de déclenchement spécifique de sécurité permet de combiner les exigences de sécurité avec la fiabilité des indications des détecteurs.

La logique de sécurité du compresseur est activée lorsqu'on a un manque de flamme au niveau des chambres de combustion 1&2(FDM-101& FDM-102) ou des chambres de combustion 3&4 (FDM-103& FDM-104).

Les détecteurs, le traitement de ces informations sont indépendants du process.

Les vannes de fermeture d'alimentation en GN des chaudières ou en gaz des turbines ne sont pas indépendantes du processus.

La chaudière possède un seul détecteur de flamme, pour une détection de défaut, on a un déclenchement immédiat.

Exemple d'une boucle instrumenté de sécurité

Fonction de la SIF : Sécurité de niveau très haut dans les sphères de stockage

But de la SIF : Éviter la montée du niveau et l'éclatement de capacité par surremplissage

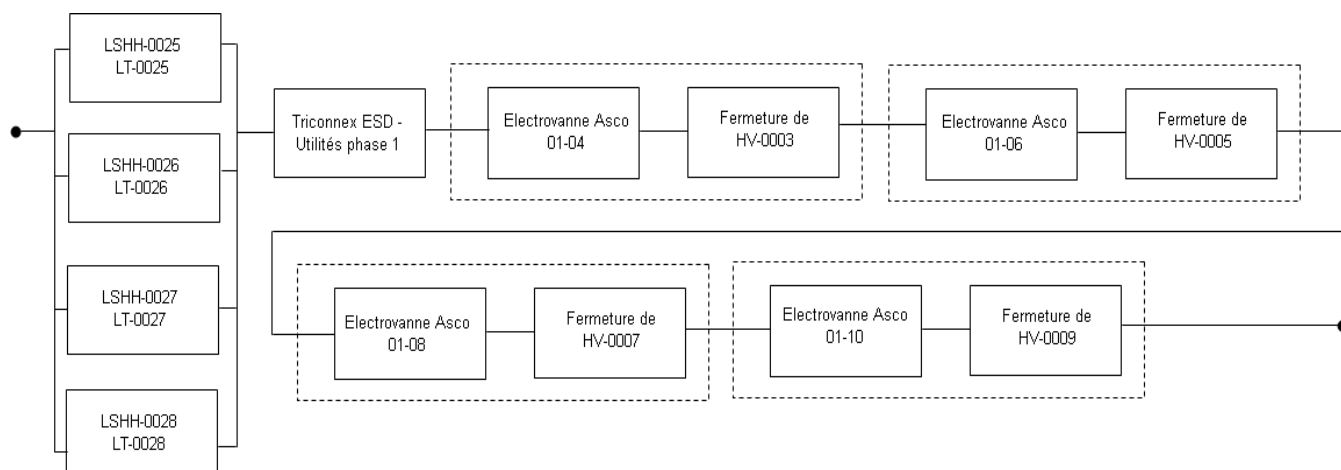


Figure 5.6:exemple de boucle de sécurité [16]

Le switch de niveaux très haut ouvre la chaîne de faible intensité vers le PLC TRICONEX qui fait une arrêt d'urgence par la fermeture d'une des vannes HV-0003, HV-0005, HV-0007, HV-0009 avec l'action de la fermetures des électrovannes Asco (coupure d'alimentation pneumatique des vannes à action simple 01-04, 01-06, 01-08, 01-10

La Maintenance préventive des chaînes de sécurités automatiques

La maintenance préventive des chaînes de sécurité automatiques est essentielle pour garantir la fiabilité, la sécurité et la longévité de ces systèmes. Voici un guide détaillé sur les meilleures pratiques pour la maintenance préventive de ces chaînes de sécurité :

➤ Inspection Visuelle Régulière

-Composants Mécaniques : Vérifiez les signes d'usure, de corrosion, de fissures ou de tout autre dommage.

-Câblage et Connecteurs : Assurez-vous qu'il n'y a pas de fils effilochés, de connexions lâches ou de corrosion.

➤ Nettoyage et Lubrification

-Nettoyage : Débarrassez les composants de la poussière, des débris et des contaminants. Utilisez des produits de nettoyage appropriés pour les composants électroniques et mécaniques.

-Lubrification : Appliquez des lubrifiants adaptés aux pièces mobiles pour réduire l'usure et prolonger la durée de vie des composants mécaniques.

➤ Vérification des Fonctions de Sécurité

-Tests Fonctionnels : Effectuez des tests réguliers pour vérifier que toutes les fonctions de sécurité (arrêt d'urgence, alarmes, interverrouillages, etc.) fonctionnent correctement.

-Simulations de Scénarios : Simulez des situations d'urgence pour vérifier la réactivité et l'efficacité des systèmes de sécurité.

➤ Calibration et Réglage

-Capteurs et Détecteurs : Calibrez régulièrement les capteurs pour garantir des mesures précises. Vérifiez les seuils et ajustez-les si nécessaire.

-Équipements de Contrôle : Assurez-vous que les équipements de contrôle (automates programmables, systèmes de surveillance) sont correctement configurés et fonctionnent selon les spécifications.

➤ Vérification des Sources d'Alimentation

-Alimentation Électrique : Contrôlez les sources d'alimentation pour détecter toute fluctuation ou interruption. Vérifiez les batteries et les systèmes de secours pour s'assurer qu'ils sont opérationnels.

-Onduleurs (UPS) : Testez les onduleurs régulièrement pour garantir une alimentation continue en cas de coupure de courant.

➤ Documentation et Enregistrement

-Journal de Maintenance : Tenez un journal détaillé de toutes les inspections, réparations et maintenances effectuées.

-Rapports de Performance : Analyser régulièrement les rapports pour identifier les tendances et prévoir les éventuels problèmes futurs.

➤ Formation et Sensibilisation

-Formation du Personnel : Assurez-vous que le personnel est formé aux procédures de maintenance et à l'utilisation correcte des chaînes de sécurité.

-Sensibilisation : Organisez des sessions de sensibilisation régulières pour rappeler l'importance de la maintenance préventive et des pratiques de sécurité.

➤ Planification des Interventions

-Calendrier de Maintenance : Élaborez un calendrier de maintenance préventive en fonction des recommandations des fabricants et des conditions d'utilisation.

-Interventions Planifiées : Prévoyez les interventions de maintenance pendant les périodes de faible activité pour minimiser les interruptions.

Les fiches de maintenance préventive des chaînes de sécurité : [17]

Tableau 5.8 : fiche description de l'élément

N°fiche : 09204B 01-01

Date : 11/10/09

Complexe : GP1Z

SIF : 01

Fiche de relevé SIL : capteurs

Description de l'élément				
Tag :	LT-0025			
Marque/modèles :	Yamatake / Honeywell			
Année :	1982			
Type de capteur				
o Débit	• Niveau	o Pression	o Température	o Autres
o Electro mécanique o Inconnu	o Capacitance o Conductivité o Flotteur o Magnétique o Sonique • Delta P	o Capacitance o Electro mécanique o Piezo-électrique o Semiconductro strain o Inconnu	o Capillaire o Resistance o Thermocouple o Inconnu	o Détecteur 75able UV o Détection 75able IR
Commentaires :				
Mode de défaillance :	<div> <div> o Sortie erronée o Défaut de fonctionnement à la demande o Sortie surévaluée Sortie 75ables75 Commentaires : </div> <div> o Problèmes mineurs en service o Déclenchement intempestif o Autres </div> </div>			
Taux de défaillance ou MTBF, MTTF ou PFD ou niveau SIL (Si connu) :	Valeur : Source : Commentaires :			

Date : 11/10/09

Complexe : GP1Z

SIF : 01

Fiche de relevé SIL : capteurs

Description des tests			
Equipement testé :	☐ OUI ☐ NON		
Test 76ables76ion avec l'installation en exploitation :	☐ OUI ☐ NON Sécurité by-passée		
Fonction de sécurité testée disponible à répondre à une 76ables76ion76n (besoin 76abl) :	☐ Oui ☐ Non	☐ Oui ☐ Non	☐ Oui ☐ Non
Mode de défaillance testé :	Tous	Tous	
Type de test : %	☐ Partiel ☐ Complet	☐ Partiel ☐ Complet	☐ Partiel ☐ Complet
Fréquence de test :	2 fois par an	2 fois par an	
Test sur l'ensemble de la boucle (du capteur à l'actionneur) ou simplement sur ce 76ables76i précis ou encore une partie de la chaîne :	☐ Elément ☐ Boucle Autres De : A :	☐ Elément ☐ Boucle ☐ Autres De : A :	☐ Elément ☐ Boucle Autres De : A :
Durée du test :	½ journée	2 jours	
Durée moyenne estimée de 76ables76ion/ remplacement en cas de panne : (Tenant compte du temps éventuel d'approvisionnement)			
Probabilité d'erreur de reconfiguration après test ou après 76ables76ion (erreur humaine) :			
Probabilité de défaillance due au test lui-même :			
Fréquence de changement :			
Inspection visuelle			
Type d'inspection	Points à relever	Correct	Défaut
Etat général	Etat, fixation, propreté, etc.	✓	
Etanchéité	Appareil, tube 76ables, etc.	✓	
Entrée des câbles	Amarrage, PE, Bouchon, etc.	✓	

Date : 11/10/09

Complexe : GP1Z

Fiche de relevé SIL : vannes/relais

SIF : 01

Description des tests			
Equipement testé :	☐ OUI ☐ NON		
Test 77ables77ion avec l'installation en exploitation :	☐ OUI ☐ NON		
Fonction de sécurité testée disponible à répondre à une 77ables77ion77n (besoin 77abl) :	☐ Oui ☐ Non	☐ Oui ☐ Non	☐ Oui ☐ Non
Mode de défaillance testé :	Tous	Tous	
Type de test : %	☐ Partiel ☐ Complet	☐ Partiel ☐ Complet	☐ Partiel ☐ Complet
Fréquence de test :	2 fois par an	2 fois par an	
Test sur l'ensemble de la boucle (du capteur à l'actionneur) ou simplement sur ce 77ables77i précis ou encore une partie de la chaîne :	☐ Elément ☐ Boucle ☐ Autres De : A :	☐ Elément ☐ Boucle ☐ Autres De : A :	☐ Elément ☐ Boucle ☐ Autres De : A :
Durée du test :	½ journée	2 jours	
Durée moyenne estimée de 77ables77ion/ remplacement en cas de panne : (Tenant compte du temps éventuel d'approvisionnement)			
Probabilité d'erreur de reconfiguration après test ou après 77ables77ion (erreur humaine) :			
Probabilité de défaillance due au test lui-même :			
Fréquence de changement :			
Inspection visuelle			
Type d'inspection	Points à relever	Correct	Défaut
Etat général	Etat, fixation, propreté, etc.	✓	
Etanchéité	Appareil, tube 77ables, etc.	✓	
Entrée des câbles	Amarrage, PE, Bouchon, etc.	✓	

-Règles de sécurité spécifiques au domaine de l'instrumentation dans les installations de l'industrie des d'hydrocarbures

Intervention sur les instruments dans les installations en service

Avant d'intervenir sur un instrument dans des installations en service il faut :

S'assurer que l'instrument concerné par l'intervention est le bon,

S'assurer que l'intervention sera parfaitement maîtrisée avec le professionnalisme requis.

En cas de doute, on ne touche à rien et on fait appel à plus qualifié que soit afin d'obtenir des informations qui permettront de travailler en toute sécurité

On n'inhibe jamais un système de sécurité avant d'avoir pris toutes les précautions requises avec l'accord préalable du personnel de production et HSE. Le strict respect des procédures d'inhibition et de déshinhibition doit être de rigueur.

Démontage des instruments sous pression dans des installations en service

Avant de déposer un instrument dans une installation en service il faut :

S'assurer qu'il est bien isolé par une vanne en position fermée

Que la conduite entre la vanne et l'instrument est décomprimée/dépressurisée. Si ce n'est pas le cas, faute de vanne de purge, on commencera à dévisser un raccord afin de réduire la pression au plus bas.

Se tenir à l'écart ou en retrait d'un raccord ou d'un bouchon qu'on commence à dévisser car il y a toujours un risque qu'une pression de gaz non purgé le projette à distance. Pour cette opération, le port de lunette de sécurité est fortement recommandé.

Après avoir déposé un instrument dans une installation en service il faut toujours

Mettre des bouchons sur les conduites (Tubing) ou à la sortie des vannes d'isolement. Dans une installation en cours de fonctionnement, on ne laisse jamais sans bouchons vissées à la clé des vannes d'isolement simplement fermée.

Lors de la dépose d'un instrument tel un manomètre sur une conduite ou une capacité sous pression, utiliser deux clés ; une pour tenir la vanne d'isolement et l'autre pour dévisser l'appareil. Il ne faut jamais dévisser/déposer un manomètre avec une seule clé.

Dépose des équipements/appareils montés en ligne

C'est certainement une des précautions les plus importantes qui peut avoir de très graves conséquences s'il elle n'est pas respectée.

Toutes les déposes de vannes de régulation, compteurs Doivent être immédiatement suivies d'une pose de brides pleines (platines) avec des joints en bon état dument serrées à la clé et non à la main.

Avant une dépose, il convient de s'assurer que les brides pleines, les joints et les goujons sont en bon

état et disponibles à proximité du lieu de travail. On n'effectue pas une dépose pour aller ensuite à l'atelier ou au magasin chercher des brides, des joints et des goujons.

Accès aux instruments par les échelles

Toujours accéder aux échelles sans se charger d'un instrument ou d'un outillage qui peut encombrer les mains et rendre dangereuse une montée ou une descente. Quand cela est nécessaire il faut utiliser une sacoche ou bien prévoir des moyens de transport ou de levage adéquats.

Utilisation des instruments en zone classée

Lors du montage d'un instrument neuf dans une zone classée, vérifier que sa norme de protection correspond au milieu pour lequel il est destiné

Utilisation des raccords et des joints plats

Ne jamais faire des montages verticaux ou horizontaux avec une multitude de raccords en acier assemblés bout à bout au risque d'impliquer une contrainte mécanique excessive sur l'un d'entre eux et provoquer ainsi la rupture d'un filetage. Cette conséquence est favorisée aux endroits soumis à de fortes vibrations et des coups de bélier ; par exemple au refoulement de pompe d'expédition de pétrole brut.

Avant d'utiliser un joint plat destiné à l'insertion entre des brides RF, toujours vérifier que sa pression d'utilisation correspond bien à la classe de la bride (Joint 150# bride RF 150#).

Montage et serrage des raccords à compression (Swagelok, Gyrolok)

Lors de montage de tuyauteries munies de raccords à compression :

Vérifier que l'extrémité de la tuyauterie est correctement sectionnée et ébavurée afin d'éviter toute réduction de diamètre. Pour sectionner des conduites en acier inox, utiliser une scie à métaux ou un coupe-tube équipé de molettes destinées aux aciers durs.

Ne jamais serrer excessivement un raccord à compression au risque :

De créer une perte de charge en réduisant le diamètre de la tuyauterie et provoquer ainsi une contrainte mécanique en particulier avec des hautes pressions,

De provoquer une rupture de la tuyauterie au niveau de la bague de serrage (Férule), surtout sur des machines tournantes/alternatives qui provoquent des vibrations importantes. [18]

Conclusion :

Au terme de notre étude, nous pouvant constater et conclure qu'il est très important la maintenance des systèmes d'instrumentation pour définir la panne et comprendre les phénomènes des défaillances et de dégradation des matériels.

Ainsi de faire une étude détaillée d'analyse de risque qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité et les coûts de maintenance et tout ça pour concrétiser la meilleure organisation de maintenance

Notre perspective, consistera à ajuster et améliorer la méthodologie MBR (maintenance basée sur le risque) pour répondre à la problématique contextuelle précitée. Ceci a été fait en proposant aux experts une liste prédéterminée de risques prioritaires, un outil d'aide à la décision et de gestion des retours d'expérience assistant les ingénieurs maintenance pendant les deux phases d'identification et d'estimation des risques. L'approche dynamique a consisté à identifier les risques dans un système de gestion de maintenance et à intégrer l'expérience des événements enregistrés au cours du cycle de production. Avec cette approche nommée RBM dynamique, il a été possible de suivre en temps réel les facteurs majeurs de pertes de performance et d'agir en conséquence sur les causes potentielles en fournissant pour les opérationnels une notion de priorité cohérente associée aux risques encourus.

Dans nos perspectives aussi le développement d'instrumentation pour la sécurité

- [1] Production Maintenance « Le magazine des solutions pour la maintenance et la prévention des risques
- [2] Nichan Margossian, « Risques et accidents Industriels majeurs », Edition Dunod, Paris, 2006.
- [3] Jean-Claude Francastel « De la conception à l'exploitation d'un bien », Edition Dunod Paris 2000,2003
- [4] J.A.C, Craveiro, J.C.T.A & Trigo, T.P., «Optimization of the preventive maintenance Duarte plan of a series components system». International Journal of Pressure Vessels and Piping, 83(4), 244-248, 2006
- [5] Tomic. B, «Risk based optimisation of maintenance - methods and approaches ». European safety and reliability conference, pp. 259–265, 1993.
- [6] Cassanelli, G. et al, « Failure Analysis-assisted FMEA ». Microelectronics and Reliability, 46(9-11), 1795-1799, 2006.
- [7] Herrou, B. & Elghorba, M, « FMECA, a powerful tool formaintenance improvement ». Case study for a compressor», Casablanca, 2005.
- [8] Darling, S.S, « Implementing a 'least cost' and 'risk focused' maintenance process ». International Conference on Nuclear Engineering, 1996.
- [9] D.O.D, «military standard: procedures for performing a failure mode effects and criticality analysis», United State Of America, 1980.
- [10] Khan, F.I & Haddara, M.M, « Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning ». Journal of LossPrevention in the Process Industries, 16(6), 561-573, 2003
- [11] Khan, F.I & Haddara, M.M, « Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning ». Journal of LossPrevention in the Process Industries, 16(6), 561-573, 2003
- [12] Arunraj, N. & Maiti, J « Risk-based maintenance--Techniques and applications», Journal of Hazardous Materials, 142(3), 653-661.2007.

[13] Jean-Claude Francastel « De la conception à l'exploitation d'un bien », Edition Dunod Paris 2000,2003 p 326

[14] APR GP1Z (Bureau d'étude DEKRA)

[15] Rapport Globale GP1Z (SONATRACH AVAL)

[16] Prestation SIL (documentation SONATRACH)

[17] Documentation SONATRACH

[18] Documentation SPIE (entreprise internationale des travaux multi-techniques)

ANNEXE 1 : Processus de déroulement d'une HAZOP

Processus de déroulement d'une HAZOP :

Début_HAZOP

Pour tous les éléments (ou composant) du système faire

Debut_pour1

Pour tous les paramètres de fonctionnement de cet élément faire

Debut_pour2

Pour tous les mots clés faire

Debut_pour3

Générer une **dérive** () ; Evaluer les **Conséquences** () ;

Si cette dérive est crédible alors

Début_si

Identifier les **Causes** () ;

Evaluer la **Criticité** = (Probabilité, Gravité) ;

Tant que Criticité est non acceptable faire

Début_tq

Engager des actions de MdR (détecter cette dérive,
limiter les effets);

Re-évaluer la **Criticité** = (Probabilité, Gravité) ;

Fin_tq

Fin_si

Fin_pour3

Fin_pour2

Fin_pour1

Fin_HAZOP

ANNEXE 2: Evolution de la réglementation algérienne de l'étude de danger :

Décret exécutif n°06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.

Art. 5. — Toute demande d'autorisation d'exploitation d'un établissement classé est précédée, selon le cas et conformément à la nomenclature des installations classées:

- d'une étude ou d'une notice d'impact sur l'environnement établie et approuvée selon les conditions fixées par la réglementation en vigueur,
- d'une étude de danger établie et approuvée selon les conditions fixées par le présent décret,
- d'une enquête publique effectuée conformément aux modalités fixées par la réglementation en vigueur.

Art. 12. — L'étude de danger a pour objet de préciser les risques directs ou indirects par lesquels l'activité de l'établissement classé met en danger les personnes, les biens et l'environnement, que la cause soit interne ou externe.

L'étude de danger doit permettre de définir les mesures d'ordre technique propres à réduire la probabilité et les effets des accidents ainsi que les mesures d'organisation pour la prévention et la gestion de ces accidents.

Art. 13. — Les études de danger sont réalisées, à la charge du promoteur, par des bureaux d'études, des bureaux d'expertise ou des bureaux de consultation compétents en la matière et agréés par le ministre chargé de l'environnement, après avis des ministres concernés, le cas échéant.

Art. 14. — L'étude de danger doit comporter les éléments suivants :

- 1) une présentation générale du projet ;
- 2) la description de l'environnement immédiat du projet et du voisinage potentiellement affecté en cas d'accident comprenant :
 - a) les données physiques : géologie, hydrologie, météorologie et les conditions naturelles (topographie, sismicité,) ;
 - b) les données socio-économiques et culturelles : population, habitat, points d'eau, captage, occupation des sols, activités économiques, voies de communication ou de transport et aires protégées.
- 3) la description du projet et ses différentes installations (implantation, taille et capacité, accès, choix du procédé retenu, fonctionnement, produits et matières mis en œuvre,) en se

servant au besoin de cartes (plan d'ensemble, plan de situation, plan de masse, plan de mouvement.) ;

4) l'identification de tous les facteurs de risques générés par l'exploitation de chaque installation considérée. Cette évaluation doit tenir compte non seulement des facteurs intrinsèques mais également des facteurs extrinsèques auxquels la zone est exposée ;

5) l'analyse des risques et des conséquences au niveau de l'établissement classé afin d'identifier de façon exhaustive les événements accidentels pouvant survenir, leur attribuer une cotation en terme de gravité et de probabilité permettant de les hiérarchiser, ainsi que la méthode d'évaluation des risques utilisée pour l'élaboration de l'étude de danger ;

6) l'analyse des impacts potentiels en cas d'accidents sur les populations (y compris les travailleurs au sein de l'établissement), l'environnement ainsi que les impacts économiques et financiers prévisibles ;

7) Les modalités d'organisation de la sécurité du site, les modalités de prévention des accidents majeurs et du système de gestion de la sécurité et des moyens de secours.

Art. 15. — Les modalités d'examen et d'approbation des études de danger sont fixées par arrêté conjoint des ministres chargés de l'intérieur et de l'environnement.

Art. 47. — Les établissements classés existants pour lesquels la nomenclature prévoit une étude de danger sont tenus, dans un délai n'excédant pas deux (2) ans à partir de la date de promulgation du présent décret, de réaliser une étude de danger.