الجمهـــوريـــــة الجزائـــريـــــة الديمقـــراطيـــــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعلـــيـــــم العـــــالـــــي والبـــحـــــث العـلمـــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

Déploiement d'un système de management du risque industriel

Présenté et soutenu publiquement par :

Mecheri Wail & Menasri Khaled

Devant le jury compose de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
MECHKEN Karima Amel	MCB	IMSI	**Président**
NADJI Mohammed EL-Amine	MAA	IMSI	**Examinateur**
Hemmami Zineb	MCA	IMSI	**Encadrante**
Metaoui Habib	Ing.	IMSI	**Co-Encadreur**

Année 2025/2026

REMERCIEMENT

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons tout d'abord nos chaleureux remerciements à notre encadreur, **Mme HEMMAMI Zineb**, pour avoir accepté d'encadrer ce travail et pour les orientations qu'elle nous a fournies au cours de sa réalisation.

Nous tenons à remercier très sincèrement notre co-encadreur, **M. METAOUI Habib**, pour sa disponibilité, son accompagnement, ses conseils avisés et son soutien tout au long de ce travail. Son implication et son aide précieuse ont largement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier l'ensemble du personnel du département Hygiène, Sécurité et Environnement des complexes AOA et GP1Z pour leur accueil, leur disponibilité, leur aide précieuse et leur sympathie durant la période de notre stage.

Nous adressons également notre profonde gratitude à nos familles pour leur soutien indéfectible, leur patience, leur compréhension et leurs encouragements, qui nous ont permis de mener ce projet à son terme.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation et à la réussite de ce mémoire.

DEDICACE

Grâce à Dieu Tout-Puissant, et en signe de reconnaissance pour tous les sacrifices consentis à notre réussite et la volonté de mener à bien ce modeste travail, nous dédions ce mémoire :

À ceux qui nous ont encouragés et soutenus tout au long de notre parcours, **nos chers parents**, que Dieu vous protège.

À tous nos frères, sœurs, et à toute notre famille **Mecheri** et **Menasri**.

À tous ceux qui nous aiment : notre famille, nos amis, nos collègues, ainsi qu'à tous ceux qui incarnent les valeurs d'amitié, d'amour, et de fidélité.

RÉSUMÉ :

Le déploiement d'un système de management du risque industriel représente un défi majeur pour les industries à haut risque, car de nombreuses organisations échouent à transformer leurs procédures documentaires en barrières de sécurité opérationnelles sur le terrain. Cette difficulté nous amène à nous demander quels sont les facteurs clés qui garantissent la réussite d'un tel déploiement. Dans ce travail, nous avons examiné les fondements théoriques des systèmes de management, leurs composants et les limites des normes génériques (ISO 9001, 14001, 45001) face aux risques d'accidents majeurs. Ensuite, nous avons exploré la sécurité des procédés (PSM), ses concepts fondamentaux, ses phénomènes dangereux (incendie, explosion, dispersion toxique) ainsi que son cadre réglementaire international et algérien (loi 19-13, décrets 07-144 et 21-319). Nous avons ensuite présenté le complexe AOA (Arzew), ses risques majeurs, et la préparation du déploiement à travers les phases 1 à 3 réalisées par le prestataire AIE. Enfin, nous avons appliqué une démarche de confrontation systématique entre la documentation prescrite et les observations terrain, ce qui nous a permis d'identifier sept facteurs clés de succès du déploiement : présence terrain, leadership aligné, agilité du déploiement, mémoire organisationnelle, management visuel, formation continue et inspection des défauts.

Mots clés : déploiement, PSM, management du risque industriel, facteurs clés de succès, AOA, sécurité des procédés, Algérie.

ABSTRACT:

The deployment of an industrial risk management system represents a major challenge for high-risk industries, as many organizations fail to transform their documentary procedures into operational safety barriers on the ground. This difficulty leads us to question the key factors that guarantee the success of such a deployment. In this work, we examined the theoretical foundations of management systems, their components and the limits of generic standards (ISO 9001, 14001, 45001) in the face of major accident risks. Then, we explored process safety (PSM), its fundamental concepts, hazardous phenomena (fire, explosion, toxic dispersion) as well as its international and Algerian regulatory framework (Law 19-13, Decrees 07-144 and 21-319). We then presented the AOA complex (Arzew), its major risks, and the preparation of the deployment through phases 1 to 3 carried out by the contractor AIE. Finally, we applied a systematic comparison approach between

prescribed documentation and field observations, which allowed us to identify seven key success factors for deployment: field presence, aligned leadership, deployment agility, organizational memory, visual management, continuous training and defect inspection.

Keywords : deployment, PSM, industrial risk management, key success factors, AOA, process safety, Algeria.

ملخص:

يمثل تطبيق نظام إدارة المخاطر الصناعية تحدياً كبيراً للصناعات عالية الخطورة، حيث تفشل العديد من المنظمات في تحويل إجراءاتها الموثقة إلى حواجز أمنية فعالة على أرض الواقع. هذا الوضع يدفعنا إلى التساؤل حول عوامل النجاح الرئيسية التي تضمن نجاح مثل هذا التطبيق. في هذا العمل، قمنا بدراسة الأسس النظرية لأنظمة الإدارة، ومكوناتها، وحدود المعايير العامة ISO) 9001، 14001، 45001 (في مواجهة مخاطر الحوادث الكبرى. ثم استعرضنا سلامة العمليات(PSM) ، ومفاهيمها الأساسية، وظواهرها الخطيرة (الحرائق، الانفجارات، التسربات السامة)، بالإضافة إلى إطارها التنظيمي الدولي والجزائري (القانون 19-13، المرسومان 07-144 و21-319). بعد ذلك، قدمنا مجمع AOA (أرزيو)، ومخاطره الكبرى، وتحضير عملية التطبيق من خلال المراحل من 1 إلى 3 التي نفذها المقاول .AIE وأخيراً، قمنا بتطبيق مقارنة منهجية بين الوثائق المعيارية والملاحظات الميدانية، مما مكننا من تحديد سبعة عوامل نجاح رئيسية للتطبيق: الوجود الميداني، القيادة المتوافقة، مرونة التطبيق، الذاكرة التنظيمية، الإدارة البصرية، التدريب المستمر، وتفتيش العيوب.

الكلمات المفتاحية : تطبيق، PSM، إدارة المخاطر الصناعية، عوامل النجاح الرئيسية، AOA، سلامة العمليات، الجزائر.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT.....i
DEDICACE.....ii
SOMMAIRE.....v
LISTE DES FIGURES.....viii
LISTE DES TABLEAUX.....ix
LISTE DES ABREVIATIONS.....x
INTRODUCTION GENERALE.....1
CHAPITRE I : Fondements des systèmes de management et limites des normes génériques..3
Introduction.....4
I.1 Définition et composants d'un système de management.....4
I. 1.1 Définition d'un système de management.....4
- **Définition selon ISO 9000:2015**.....4
- **Définition selon IOSH (2003)**.....4
- **Définition selon CCPS (2007) :**.....4

Synthèse des définitions :.....5
I .1.2 Les composants d'un système de management.....5
I.2 Le cycle PDCA : la méthode commune à tous les systèmes de management.....7
I.2.1 Définition et origine du PDCA.....7
I.2.2 Les quatre phases du cycle PDCA.....8
I.2.3 Application du PDCA dans les systèmes de management.....8
I.2.4 L'amélioration continue comme objectif du cycle.....10
I.3 Les normes génériques de référence (ISO 9001, 14001, 45001).....11
I.3.1 ISO 9001:2015 (Système de Management de la Qualité - SMQ).....11
I.3.2 ISO 14001:2015 (Système de Management Environnemental - SME).....12
I.3.3 ISO 45001:2018 (Santé et sécurité au travail).....12
I.3.4 La structure de haut niveau (HLS) commune.....12
I.4 Insuffisance de ces normes face aux risques d'accidents majeurs.....13
I.4.1 Les limites des systèmes de management génériques.....13
I.4.2 La nécessité d'une approche spécifique.....14
Conclusion.....15
CHAPITRE II : La sécurité des procédés (PSM) et son cadre réglementaire.....16
Introduction :.....17
II.1 Définition et périmètre de la sécurité des procédés.....17
II.1.1Définition selon CCPS et OSHA.....17

II.1.2 Différence entre sécurité du travail et sécurité des procédés 18
II.1.3 Le domaine d'application (approche internationale) 19
II.2 La sécurité des procédés en Algérie 20
II.2.1 La loi des hydrocarbures 19-13 20
II.2.2 Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) 21
II.2.3 décret 21-319 21
II.3 Les phénomènes dangereux 22
II.4 : LIMITE : LA SÉCURITÉ DES PROCÉDÉS RESTE UN OBJECTIF, PAS UN SYSTÈME 26
II.5 Définition et origines (CCPS) et spécificité du PSM 27
II.5.1 Définition du PSM selon CCPS (Risk-Based Process Safety) 27
II.5.2 Spécificité du PSM par rapport aux autres systèmes de management 29
II.6 Les piliers du PSM (20 éléments) 30
II.6.1 Pilier 1 : S'engager pour la sécurité des procédés 31
II.6.2 Pilier 2 : Comprendre les dangers et les risques 31
II.6.3 Pilier 3 : Gérer les risques 32
II.6.4 Pilier 4 : Apprendre de l'expérience 32
Conclusion 33
CHAPITRE III : Contexte opérationnel et préparation du déploiement (cas AOA) 34
Introduction : 35
III.1 Présentation de l'usine AOA 35
III.1.1 Présentation générale d'AOA 35
III.1.2 Localisation et contexte industriel (zone d'Arzew) 36
III.1.3 Synthèse des risques majeurs dans AOA 38
III.2 Le déploiement : mise en œuvre du système de management du risque industriel 39
III.2.1 Objectifs du déploiement 39
III.2.2 Constat : un avancement chiffré mais relatif 41
III.2.3 Importance du déploiement par rapport à l'implantation complète 42
III.2.4 Rétrospective des phases fondatrices (Réalisées par AIE) 44
Conclusion 46
CHAPITRE IV : Déploiement terrain, actions et facteurs clés de succès 47
Introduction : 48
IV.1 DÉPLOIEMENT TERRAIN : ACTIONS ET RÉALISATIONS OPÉRATIONNELLES 48
IV.1.1 Ingénierie du déploiement et structure de support 48
IV.1.2 Le renforcement des capacités : un pilier de la fiabilité humaine 48
IV.1.3 La clôture physique des écarts (« Gap Closure ») et le processus de « Sign-off » 49
IV.1.4 Pilotage de la performance proactive via les KPIs 49
IV.1.5 Ancrage de la culture de sécurité des procédés 50

IV.1.6 Démarche méthodologique 50
IV.2 Points à améliorer et comparaison documentation/données réelles 51
IV.3 FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS DU DÉPLOIEMENT 53
IV.3.1 Présence effective sur le terrain 53
IV.3.2 Alignement du Leadership et « Languagement » La Cohérence de la Chaîne de Commandement 55
IV.3.3 Développement et Déploiement simultanés 57
IV.3.4 Rappel des événements passés : cultiver le sentiment de vulnérabilité 59
IV.3.5 Management Visuel et Signalisation Renforcée : Faire du terrain un acteur de la sécurité 60
IV.3.6 Formation Périodique et Sensibilisation Continue : 62
IV.3.7 Surveillance et Inspection des Défauts : un levier de progrès continu 64
Conclusion 66
CONCLUSION GÉNÉRALE 67
BIBLIOGRAPHIE 69

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Interconnexion des 6 piliers fondamentaux et composants d'un système de management. 7
Figure 2 : Le cycle PDCA Universel (Plan-Do-Check-Act) comme base des systèmes de management. 9

Figure 3 : Les 11 éléments de Système de Gestion de la Sécurité (SGS) axés sur l'amélioration continue. 22
Figure 4 : Incendie géant du dépôt de carburant de Buncefield (2005) : Vue aérienne du panache de fumée. 23
Figure 5 : Explosion de la raffinerie de Texas City (2005) et aperçu des dommages structurels majeurs sur site. 24
Figure 6 : Dispersion toxique d'un nuage de dioxine (TCDD) à Seveso, illustrant la phase post-accidentelle de confinement des terres. 25
Figure 7: Piliers (Blocs de base) et éléments associés qui constituent un système robuste de gestion de la sécurité des procédés (RBPS). 33

Figure 8 : Vue d'ensemble des installations industrielles du complexe d'engrais azotés AOA (Arzew). 36
Figure 9 : Vue satellite illustrant la délimitation géographique et l'environnement immédiat (voisinage) du complexe AOA. 37
Figure 10 : Schéma opérationnel d'intégration du système PSM basé sur le séquencement des 5 phases clés du projet AIE. 45

Figure 11 : La présence effective sur le terrain comme pilier de la résilience opérationnelle et de la détection des signaux faibles. 55
Figure 12 : Cadre opérationnel de l'alignement du leadership (Languagement) pour assurer la cohérence du management de la sécurité. 57
Figure 13 : Cadre opérationnel du processus de développement et déploiement simultanés pour la gestion des écarts. 58
Figure 14 : Perspective du processus de rappel des événements passés pour cultiver le sentiment de vulnérabilité. 60
Figure 15 : Perspective du processus de management visuel pour la gestion des signaux de sécurité et le renforcement de la vigilance sur site. 62
Figure 16 : Approche du processus de formation périodique et sensibilisation continue pour le maintien de la fiabilité humaine. 64
Figure 17 : Approche pratique de la surveillance et l'inspection des défauts pour garantir l'intégrité des actifs et l'amélioration continue. 66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Synthèse des dangers majeurs, substances critiques et conséquences accidentelles potentielles au sein du complexe AOA. 38
Tableau IV.1 : Synthèse des écarts de conformité opérationnelle et exemples concrets relevés sur le terrain à AOA. 51

LISTE DES ABREVIATIONS

AIE : Asset Integrity Engineering (prestataire du projet PSM)

ALARP : As Low As Reasonably Practicable (risque aussi bas que raisonnablement possible)

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

AOA : El Sharika El Djazairia El Omania Lil Asmida (complexe d'engrais azotés)

API : American Petroleum Institute

ARH : Autorité de Régulation des Hydrocarbures

ATEX : Atmosphères Explosibles

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion

CCPS : Center for Chemical Process Safety

CFR : Code of Federal Regulations (États-Unis)

EDD : Étude de Dangers

EIE : Étude d'Impact sur l'Environnement

EPI : Équipements de Protection Individuelle

ESDV : Emergency Shut-Down Valve (vanne d'arrêt d'urgence)

ESP : Équipements Sous Pression

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

HAZID : Hazard Identification (identification des dangers)

HAZOP : Hazard and Operability Study (étude des dangers et de l'exploitabilité)

HLS : High Level Structure (structure de haut niveau)

HSE : Health, Safety and Environment (Santé, Sécurité et Environnement)

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

IEC : International Electrotechnical Commission

IOSH : Institution of Occupational Safety and Health

ISO : International Organization for Standardization

ITPM : Inspection, Testing and Preventive Maintenance

KPI : Key Performance Indicator (indicateur clé de performance)

LOPA : Layers of Protection Analysis (analyse des couches de protection)

LOPC : Loss of Primary Containment (perte de confinement primaire)

MOC : Management of Change (gestion du changement)

OSHA : Occupational Safety and Health Administration (États-Unis)

PDCA : Plan-Do-Check-Act (Planifier-Réaliser-Vérifier-Agir)

PPI : Plan Particulier d'Intervention

PSM : Process Safety Management (management de la sécurité des procédés)

PSSR : Pre-Startup Safety Review (revue de sécurité avant démarrage)

QRA : Quantitative Risk Assessment (évaluation quantitative des risques)

RBPS : Risk-Based Process Safety (sécurité des procédés basée sur le risque)

REX : Retour d'Expérience

SGS : Système de Gestion de la Sécurité

SIPOC : Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers

SIS : Safety Instrumented System (système instrumenté de sécurité)

SST : Santé et Sécurité au Travail

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie pétrochimique et gazière occupe une place stratégique dans l'économie algérienne, notamment à travers le pôle industriel d'Arzew qui regroupe plusieurs complexes de transformation d'hydrocarbures. Cependant, ces installations, par la nature des substances manipulées (ammoniac, urée, gaz naturel) et les conditions extrêmes de pression et de température, présentent des risques d'accidents majeurs pouvant entraîner des conséquences catastrophiques pour les personnes, les biens et l'environnement. Les catastrophes industrielles survenues par le passé, telles que Bhopal (1984), Mexico City (1984), Seveso (1976), Bluefield (2005) ou encore l'explosion de l'usine AZF à Toulouse (2001), rappellent que la maîtrise des risques industriels ne peut se réduire à une simple conformité réglementaire ou documentaire.

Au centre de cette problématique se trouve un constat troublant : bien que de nombreux systèmes de management de la sécurité des procédés (PSM) aient été conçus et documentés, leur passage à la réalité opérationnelle reste souvent un échec. La documentation existe, les procédures sont rédigées, les formations sont planifiées, mais sur le terrain, les barrières de sécurité ne sont pas toujours actives, les écarts entre le « travail prescrit » et le « travail réel » persistent, et les indicateurs de performance restent trompeurs.

L'un des défis majeurs de tout système de management du risque industriel réside dans la réussite de sa phase de déploiement. En effet, de nombreuses organisations échouent à transformer leurs procédures documentaires en barrières de sécurité opérationnelles sur le terrain. Ainsi, nous sommes confrontés à une question centrale : **comment réussir le déploiement opérationnel d'un système de management du risque industriel dans un complexe à haut risque ?**

Nous avançons l'hypothèse que le succès du déploiement ne dépend pas uniquement de la qualité des documents produits, mais de la capacité de l'organisation à transformer ces standards en réflexes quotidiens, en s'appuyant sur une immersion terrain, un leadership aligné et des facteurs clés de succès clairement identifiés. Ces facteurs clés, bien qu'identifiés sur le cas d'AOA, pourront être projetés sur d'autres systèmes similaires dans le secteur industriel.

Pour répondre à cette problématique, nous avons adopté une méthodologie terrain basée sur une confrontation systématique entre la documentation prescrite (procédures, permis de travail, formations) et les observations réalisées lors d'un stage au sein du complexe AOA. Cette démarche

s’appuie sur des observations terrain, des entretiens avec les équipes et l’analyse directe des pratiques, permettant ainsi d’identifier les écarts récurrents et d’en déduire les leviers d’action.

L’objectif de ce travail est d’analyser les conditions de succès du déploiement d’un système de management du risque industriel, en prenant comme cas d’étude le complexe AOA, et de proposer des facteurs clés de succès opérationnels transférables à d’autres installations industrielles.

Ce travail est réparti en quatre chapitres :

- **Chapitre I** : pose les bases théoriques des systèmes de management et analyse les limites des normes génériques (ISO 9001, 14001, 45001) face aux risques d’accidents majeurs, justifiant ainsi le recours à une approche spécifique.

- **Chapitre II** : est consacré à la sécurité des procédés (PSM). Il en présente les concepts fondamentaux, les distingue de la sécurité du travail, décrit les phénomènes dangereux à travers des exemples historiques, et expose le cadre réglementaire international et algérien.

- **Chapitre III** : introduit le contexte opérationnel de notre étude : le complexe AOA. Après avoir présenté le site et ses risques majeurs, il décrit les phases préparatoires du projet PSM (diagnostic, préparation, développement) réalisées par le prestataire AIE.

- **Chapitre IV**: constitue le cœur du mémoire. Il détaille les actions opérationnelles du déploiement terrain, confronte la documentation prescrite aux données réelles, identifie les écarts récurrents, et dégage sept facteurs clés de succès qui représentent la principale contribution de ce travail.

CHAPITRE I :
Fondements des systèmes de management et limites des normes génériques

Introduction

garantir une compréhension solide du déploiement d'un système de management du risque industriel, il est impératif de maîtriser les fondements théoriques des systèmes de management, leurs composants et leurs limites. De plus, une connaissance approfondie des normes génériques (ISO 9001, 14001, 45001) et du cycle PDCA est essentielle pour appréhender les enjeux de la sécurité des procédés. Ce chapitre s'attache à explorer ces aspects fondamentaux pour poser les bases nécessaires à l'étude du déploiement d'un système PSM dans les industries à haut risque.

I.1 Définition et composants d'un système de management

I. 1.1 Définition d'un système de management

Un système de management ne doit pas être perçu comme une simple entité administrative, mais comme le moteur structurel qui permet à une organisation de transformer ses intentions en résultats tangibles et reproductibles. Il constitue l'architecture invisible qui coordonne les ressources, les processus et les comportements vers une finalité commune.[1]

- **Définition selon ISO 9000:2015 :** le système de management est un « ensemble d'éléments corrélés ou en interaction d'un organisme, utilisés pour établir des politiques, des objectifs et des processus de façon à atteindre lesdits objectifs ». Cette définition souligne que le système n'est pas une somme de parties isolées mais une interdépendance incluant la structure organisationnelle, les rôles, les responsabilités et la planification.[1]

- **Définition selon IOSH (2003) :** Le système de management est un dispositif de maîtrise opérationnelle qui combine les personnes, les politiques et les moyens. Il vise à améliorer de manière continue les performances en matière de santé et de sécurité au travail (SST) en intégrant la prévention au cœur du pilotage de l'organisation.

- **Définition selon CCPS (2007) :** le système de management est un « ensemble d'activités formellement établies et documentées conçues pour produire des résultats spécifiques de manière cohérente sur une base durable ». Le CCPS insiste sur le caractère formel : un système non documenté ne peut garantir la cohérence des barrières de sécurité dans le temps. [2]

Synthèse des définitions :

La synthèse de ces approches permet de définir le système de management comme suit :

« Le système de management est une architecture organisationnelle dynamique et documentée qui coordonne les politiques, les processus techniques et les compétences humaines afin de maintenir les activités dans une enveloppe de performance définie, tout en assurant une maîtrise proactive des risques industriels. »

I .1.2 Les composants d'un système de management

Un système de management se définit comme un ensemble d'éléments corrélés ou en interaction au sein d'un organisme, agissant de concert pour établir des politiques et des objectifs ainsi que les processus nécessaires pour les atteindre. Cette architecture organisationnelle n'est pas une structure statique mais un mécanisme dynamique conçu pour produire des résultats cohérents et durables.[1]

A. Le cadre directionnel : Vision et Engagement

Ce composant constitue la « tête » du système, donnant le sens et l'impulsion nécessaire à toutes les activités.

- **La Politique et les Objectifs :** La haute direction doit formuler une politique claire qui exprime les intentions de l'organisme. Cette politique sert de cadre pour fixer des objectifs mesurables (KPI) à tous les échelons, garantissant que chaque action contribue à la finalité globale
- **Leadership et Responsabilités :** Le système repose sur une structure où les rôles, les responsabilités et les autorités sont formellement assignés. La direction doit déléguer les pouvoirs nécessaires tout en restant redevable de l'efficacité globale du management.
- **Culture et Convictions :** Un composant souvent immatériel mais crucial réside dans les pratiques et les convictions de l'entreprise. Le succès du système dépend de l'alignement des comportements individuels avec les valeurs de sécurité et de performance prônées par l'organisation. [1]

B. Le capital humain : La ressource essentielle

Le personnel est considéré comme l'élément central du système, car sa manière de se comporter détermine la performance réelle de l'organisme. [1]

- **Implication et Adhésion** : Pour être efficace, le système exige que le personnel comprenne la politique et les résultats escomptés. Cette adhésion transforme les procédures passives en barrières de sécurité vivantes.

- **Gestion des Compétences** : L'organisation doit identifier les compétences requises pour chaque activité, assurer le recrutement des profils adaptés et mettre en œuvre des programmes de formation initiale et continue.
- **Sensibilisation et Communication** : Le personnel doit être sensibilisé à l'impact de ses tâches sur le système global. Une communication fluide, interne et externe, est indispensable pour partager les informations critiques et les leçons apprises. [1]

C. L'approche processus : Le moteur opérationnel

Un système de management performant gère les activités non pas isolément, mais comme un réseau de processus en interaction. [1]

- **Interaction des flux :** Les éléments de sortie d'un processus (produits, informations, documents) deviennent généralement les éléments d'entrée d'autres processus. Cette interdépendance permet de briser les silos interfonctionnels.
- **Modélisation SIPOC :** Chaque processus est caractérisé par ses fournisseurs, ses intrants (inputs), ses activités de transformation, ses extrants (outputs) et ses clients. Cette structure permet de mesurer précisément la valeur ajoutée à chaque étape.
- **Activités prescrites vs réelles :** Le système distingue le « travail prescrit » (les procédures) des activités qui réagissent à des stimuli extérieurs, nécessitant une agilité et une compréhension profonde des objectifs. [1]

D. Les ressources matérielles et technologiques

Le système doit fournir et maintenir les moyens indispensables à la réalisation des activités prévues. [3]

- **Infrastructure :** Cela comprend les bâtiments, les équipements de production (vannes, réacteurs), les logiciels et les outils de communication. Un plan de maintenance rigoureux est nécessaire pour garantir la disponibilité et la fiabilité de ces actifs. [3]
- **Système de mesure et surveillance :** Pour piloter l'organisme, il faut disposer de ressources pour la surveillance et la mesure (capteurs, instruments de contrôle). La traçabilité de ces mesures est essentielle pour garantir l'exactitude des données techniques. [3]

E. L'architecture documentaire : La mémoire du système

La création d'un système documentaire structuré est une exigence pour conserver les connaissances et prouver la conformité. [1]

- **Le Manuel et les Processus :** Ils définissent la stratégie et la cartographie globale des interactions. [3]

- **Les Procédures et Modes opératoires :** Ils décrivent précisément l'exécution des tâches en mode normal, dégradé ou d'urgence. [3]
- **Les Enregistrements :** Ils constituent les dossiers fournissant la preuve tangible que les activités ont été réalisées conformément aux exigences. [1]

F. Le pilotage dynamique : Analyse et Amélioration

Le système est un mécanisme auto-apprenant qui utilise le retour d'expérience pour progresser. [1]

- **Approche factuelle :** Les décisions ne doivent pas reposer sur l'intuition seule, mais sur l'analyse et l'évaluation de données et d'informations fiables. [1]
- **Cycle PDCA (Roue de Deming) :** Le management s'appuie sur une boucle continue : Planifier (objectifs), Réaliser (faire), Vérifier (mesurer les écarts) et Agir (améliorer). Cette constante remise en cause permet de faire évoluer les pratiques face aux nouveaux risques. [4]

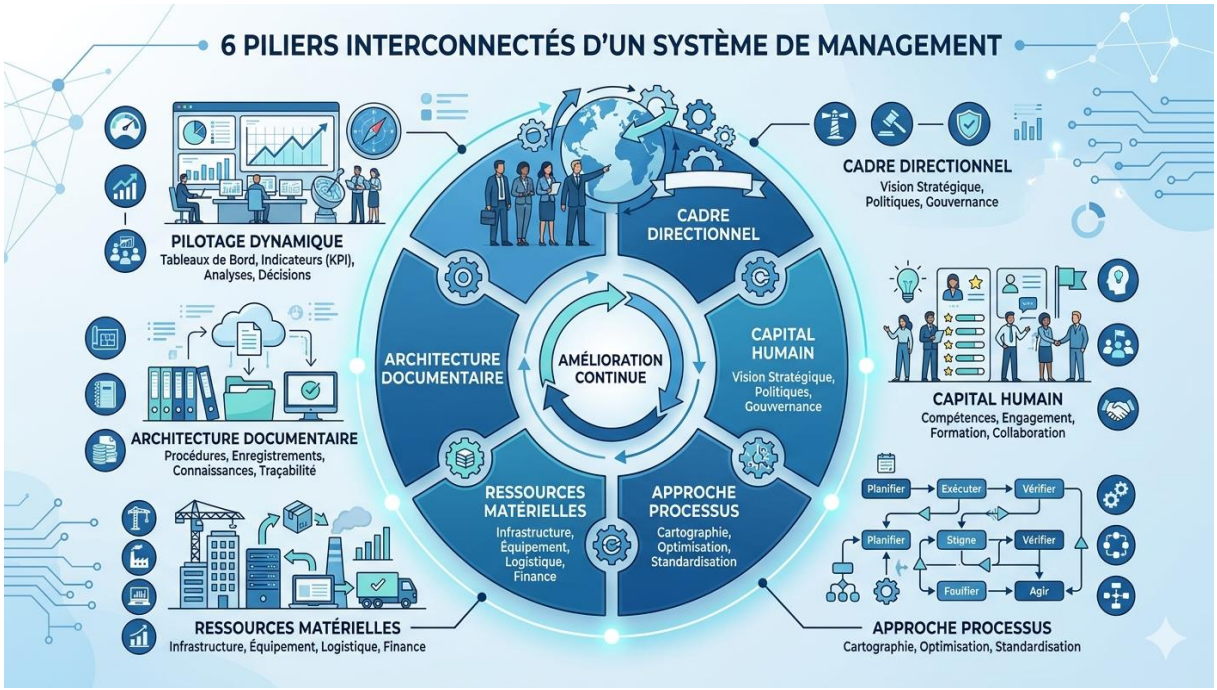


Figure 1*:* Interconnexion des 6 piliers fondamentaux et composants d'un système de management.

I.2 Le cycle PDCA : la méthode commune à tous les systèmes de management

I.2.1 Définition et origine du PDCA

Le cycle PDCA, aussi appelé Roue de Deming, est une méthodologie itérative de management visant l'amélioration continue. Popularisé par William Edwards Deming, il est représenté par une roue avançant sur une pente ascendante vers la performance, empêchée de redescendre par une "cale" symbolisant le système documentaire (procédures) [4]

I.2.2 Les quatre phases du cycle PDCA

Chaque étape est essentielle pour que le cycle continue de tourner de manière efficace :

- **Plan (Planifier) :** Préparation du travail à effectuer. On identifie les problèmes, planifie les tâches, définit les missions et fixe des objectifs SMART (Spécifiques, Mesurables, Atteignables, Réalistes, Temporellement définis). C'est ici que l'on détermine les indicateurs de performance (KPI) qui permettront de mesurer les résultats. [4]
- **Do (Réaliser / Faire) :** Mise en œuvre opérationnelle. On exécute les activités prévues en spécifiant les tâches, les responsabilités et les critères de performance. [4]
- **Check (Vérifier) :** Évaluation des résultats. On mesure et compare les résultats obtenus par rapport aux prévisions initiales pour récolter les conséquences des choix stratégiques. [4]
- **Act (Agir / Améliorer) :** Correction et décision. On analyse les erreurs, on prend des décisions correctives, on retravaille les procédures et on initie un nouveau cycle de planification. [4]

I.2.3 Application du PDCA dans les systèmes de management

Le cycle PDCA (Plan-Do-Check-Act) ne doit pas être perçu comme une simple suite de tâches, mais comme le moteur dynamique qui assure la cohérence de n'importe quel système de management. Son application permet de transformer des intentions stratégiques en réalités opérationnelles tout en garantissant la maîtrise des risques.

Grâce à l'adoption par l'ISO de la Structure de Haut Niveau (HLS), les exigences de management sont désormais organisées de façon à ce que le cycle PDCA puisse être appliqué de manière uniforme à tous les processus de l'entreprise. [3]

A. La phase PLAN (Planifier) : l'ancrage stratégique

Dans un système de management, cette phase est la plus critique car elle définit la direction. Elle ne se limite pas à fixer des objectifs, mais englobe la compréhension globale de l'organisme. [3]

- Détermination du contexte : analyser les enjeux internes et externes qui peuvent influencer les résultats escomptés. [3]
- Leadership et planification : la direction établit les politiques et les responsabilités. C'est ici que l'on identifie les risques et les opportunités pour s'assurer que le système peut atteindre ses objectifs. [3]
- Allocation des ressources : on spécifie les processus opérationnels ainsi que les ressources humaines et techniques nécessaires. [3]

B. La phase DO (Réaliser) : le déploiement opérationnel

Cette étape correspond à la mise en œuvre effective de ce qui a été planifié.

- Maîtrise opérationnelle : exécution des activités selon les procédures et modes opératoires établis pour garantir la conformité. [3]
- Support et compétence : s'assurer que le personnel est formé, sensibilisé et dispose des informations documentées à jour pour réaliser ses tâches en toute sécurité et efficacité. [3]

C. La phase CHECK (Vérifier) : l'évaluation factuelle

Le système doit être capable de s'auto-évaluer pour détecter les défaillances avant qu'elles ne deviennent critiques.

- Audits internes : réalisation d'évaluations planifiées pour vérifier si le système est confor me aux dispositions prévues et s'il est efficacement mis en œuvre. [4]
- Revue de direction : processus d'analyse factuelle du passé permettant à la direction de faire le point sur la performance globale du système. [4]

D. La phase ACT (Agir) : la capitalisation et l'amélioration

C'est ici que la boucle se referme pour entamer un nouveau cycle de progrès.

- Traitement des non-conformités : réagir aux écarts constatés lors de la phase de vérification en entreprenant des actions correctives pour éliminer les causes profondes des problèmes. [4]
- Amélioration continue : sur la base des résultats et des analyses, l'organisme ajuste ses processus pour accroître sa performance de manière durable. [4]

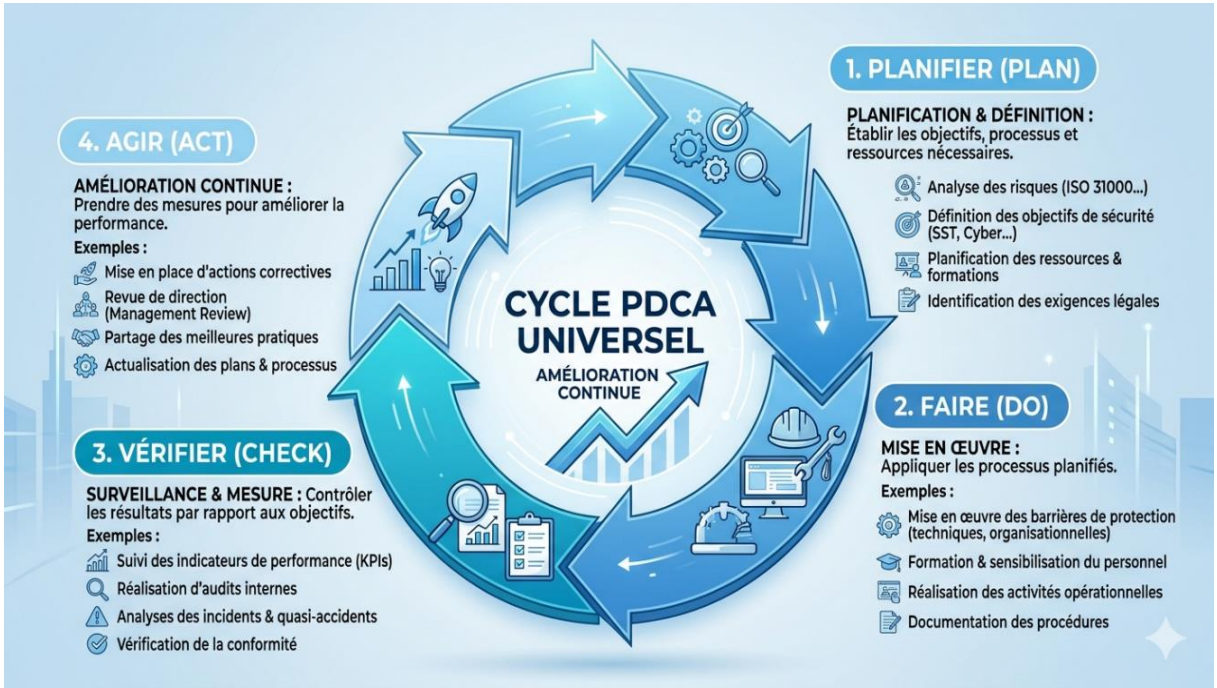


Figure 2 : Le cycle PDCA Universel (Plan-Do-Check-Act) comme base des systèmes de management.

I.2.4 L'amélioration continue comme objectif du cycle

Dans le cadre normatif et industriel, l'amélioration continue ne constitue pas seulement la phase finale du cycle PDCA ; elle en est la finalité suprême et le moteur qui transforme une gestion statique en un cercle vertueux de performance. [1] Selon la norme ISO 9000:2015, elle est définie comme une « activité récurrente menée pour améliorer les performances ». [1] Pour un organisme, le succès durable repose sur cette volonté constante de conserver ses niveaux de performance, de réagir aux variations du contexte et de créer de nouvelles opportunités. [1]

A. La philosophie du progrès permanent

William Edwards Deming, pionnier du concept, insiste sur la nécessité de garder en permanence à l'esprit cet objectif d'amélioration pour assurer la **survie et la compétitivité** de l'organisation face à la concurrence. [4]

- La recherche de l'excellence : Le principe fondamental de Deming est que la perfection n'est jamais atteinte, mais que l'organisation doit s'en approcher le plus possible par un effort constant et sans fin. Dans les systèmes de sécurité (HSE-MS), cela se traduit par une constante remise en cause des pratiques pour les faire évoluer sans cesse. [4]
- Le concept de la « spirale » : Chaque tour du cycle PDCA ne doit pas ramener l'entreprise à son point de départ. Graphiquement, le cycle est représenté par une roue qui avance sur une surface montante, symbolisant une performance croissante. Le système documentaire (procédures et standards) agit comme une cale de sécurité (chock) qui empêche la roue de redescendre, stabilisant ainsi chaque nouveau palier de performance atteint avant d'entamer le tour suivant. [3]

B. Les leviers opérationnels de l'amélioration

Pour que l'amélioration soit effective et factuelle, elle doit s'appuyer sur des processus formels et des données concrètes :

- L'analyse des données et des indicateurs : L'organisme utilise les indicateurs de performance (KPI) pour évaluer objectivement les processus, identifier les tendances et détecter les sources de faiblesse avant qu'elles ne génèrent des défaillances. Une combinaison d'indicateurs proactifs et réactifs permet d'obtenir une image complète de l'efficacité du système. [5]
- Les audits et les constatations : Le processus de recherche d'opportunités d'amélioration s'appuie systématiquement sur les conclusions d'audits internes et externes. Ces évaluations permettent de mettre en lumière les dysfonctionnements et de confronter le « travail prescrit » (procédures) au « travail réel » sur le terrain. [4]

- La revue de direction : Élément clé mis en avant par le standard CCPS (Risk-Based Process Safety), la revue de direction est la pratique par laquelle les responsables à tous les niveaux définissent les attentes, examinent les progrès vers les objectifs et allouent les ressources nécessaires pour franchir une nouvelle étape de performance. [4]

C. Vers la résilience et la maîtrise des risques (ALARP)

Dans un complexe industriel comme AOA, l'objectif ultime de l'amélioration continue est d'atteindre et de maintenir un niveau de risque aussi bas que raisonnablement possible (**ALARP**) afin de minimiser les risques opérationnels.

- Apprendre de l'expérience : L'amélioration repose sur la capacité de l'organisation à devenir une « organisation apprenante » qui capitalise sur son expérience. Cela implique d'investiguer systématiquement les causes profondes (Root Cause Analysis) de chaque incident ou « presqu'accident » (near-miss) pour renforcer les barrières de sécurité et éviter leur réapparition. [2]
- Résilience organisationnelle : Un système sous contrôle est un système capable d'amortir ou d'éliminer les perturbations non désirées. L'amélioration continue vise à développer cette résilience à travers une culture où les erreurs sont considérées comme des opportunités d'apprentissage plutôt que des motifs de blâme, aidant ainsi le personnel à faire face à la complexité des procédés industriels [2]

I.3 Les normes génériques de référence (ISO 9001, 14001, 45001)

La normalisation internationale a pour objet de fournir des solutions à des problèmes techniques et commerciaux se posant de façon répétée. Pour un complexe industriel, ces normes ne sont pas seulement des labels, mais des outils stratégiques permettant de piloter la performance globale.[1]

I.3.1 ISO 9001:2015 (Système de Management de la Qualité - SMQ)

La norme ISO 9001 est le référentiel le plus utilisé au monde pour garantir la capacité d'un organisme à fournir des produits et services conformes.

- L'approche par le contexte : Une spécificité de la version 2015 est l'obligation de comprendre le « contexte de l'organisme ». C'est un processus qui détermine les facteurs internes (valeurs, culture, performance) et externes (juridique, technologique, économique) ayant une influence sur la pérennité de l'entreprise. [1]
- Optimisation des ressources : Le SMQ permet à la direction d'optimiser l'utilisation des ressources en tenant compte des conséquences de ses décisions à court et long terme.

- Prise de décision fondée sur les preuves : La norme insiste sur le fait que l'analyse des faits, des preuves et des données conduit à une plus grande objectivité et à une confiance accrue dans les décisions managériales. [1]
- L'approche processus : L'organisme doit définir ses processus comme un ensemble d'activités corrélées transformant des éléments d'entrée en résultats escomptés. Certains processus sont jugés critiques pour la satisfaction client et doivent faire l'objet d'une surveillance accrue. [1]

I.3.2 ISO 14001:2015 (Système de Management Environnemental - SME)

Cette norme permet à une organisation de gérer ses responsabilités environnementales de manière à contribuer au pilier « environnemental » du développement durable.

- Aspects et Impacts : Le SME repose sur l'identification des aspects environnementaux (activités, produits ou services interagissant avec l'environnement) et l'évaluation des impacts associés (changements négatifs ou bénéfiques). [6]
- Obligations de conformité : La norme impose une veille rigoureuse sur les exigences légales et autres exigences que l'organisme doit respecter. [6]
- Performance environnementale : L'objectif est d'identifier les forces et faiblesses environnementales pour proposer des actions d'amélioration, comme la réduction de la consommation d'énergie ou la gestion optimale des déchets. [6]

I.3.3 ISO 45001:2018 (Santé et sécurité au travail)

Adoptée en 2018 pour remplacer l'OHSAS 18001, elle est le premier standard international pour la santé et la sécurité au travail.

- Prévention proactive : Sa finalité est de fournir un cadre pour prévenir les traumatismes et pathologies liés au travail en éliminant les dangers et en minimisant les risques SST. [7]
- Consultation et participation : C'est un pilier fondamental de cette norme. Elle exige que les travailleurs soient impliqués et consultés à tous les niveaux du système de management, notamment lors de l'identification des dangers et de la prise de décisions sur les mesures de sécurité. [7]
- Management des risques (EVRP) : Le système impose une évaluation rigoureuse des risques pour s'assurer que les barrières de prévention sont efficaces et maintenues dans le temps. [7]

I.3.4 La structure de haut niveau (HLS) commune

L'innovation majeure de l'ISO réside dans la Structure de Haut Niveau (HLS), issue de l'Annexe SL, qui harmonise l'architecture de toutes les normes de management. Cette structure commune facilite la mise en place d'un Système de Management Intégré (SMI). [7]

Les normes partagent désormais 10 chapitres identiques, dont les chapitres 4 à 10 sont dits « auditables » et suivent la logique du cycle PDCA : [7] [3]

1. Domaine d'application
2. Références normatives
3. Termes et définitions
4. Contexte de l'organisme : Enjeux internes/externes et besoins des parties intéressées.
5. Leadership : Engagement de la direction, politique et définition des rôles et responsabilités.
6. Planification : Actions à entreprendre face aux risques et opportunités pour atteindre les objectifs.
7. Support : Gestion des ressources, compétences, sensibilisation et informations documentées.
8. Réalisation des activités opérationnelles : Maîtrise des processus de production ou de service.
9. Évaluation des performances : Surveillance, mesure, analyse, audit interne et revue de direction.
10. Amélioration : Gestion des non-conformités, actions correctives et amélioration continue.

Bénéfices de l'intégration : L'adoption de cette structure permet à une entreprise d'avoir un système plus simple et cohérent. Elle évite la duplication des procédures (par exemple, une seule procédure pour les audits internes ou la maîtrise documentaire) et permet une vision globale des risques de l'organisation [7]

I.4 Insuffisance de ces normes face aux risques d'accidents majeurs

Bien que les normes ISO 9001, 14001 et 45001 constituent un socle solide pour la gestion de la performance et de la sécurité courante, elles présentent des lacunes critiques lorsqu'il s'agit de prévenir et de maîtriser les accidents industriels majeurs. L'histoire de l'industrie, marquée par des catastrophes telles que Seveso ou Flixborough, a démontré que le simple respect de ces référentiels génériques ne garantit pas l'immunité contre des événements dévastateurs liés aux procédés. [8]

I.4.1 Les limites des systèmes de management génériques

Les systèmes de management dits « génériques » rencontrent plusieurs limites intrinsèques face à la complexité des risques technologiques :

- Divergence entre Sécurité au Travail et Sécurité des Procédés : La norme ISO 45001 traite principalement de la santé et sécurité au travail (Occupational Safety), focalisée sur des risques à fréquence élevée mais gravité individuelle faible (chutes, brûlures mineures, accidents de circulation). [9] Elle s'avère insuffisante pour gérer les événements à faible probabilité mais à conséquences catastrophiques (incendies majeurs, explosions, rejets toxiques massifs) liés directement à l'intégrité technique des installations. [8]

- Indicateurs de performance trompeurs : Les indicateurs classiques de l'ISO 45001 (taux de fréquence/gravité des accidents du travail) sont souvent des indicateurs rétrospectifs (Lagging KPIs) qui ne reflètent pas l'état réel des barrières de sécurité d'un procédé. Une entreprise peut afficher un excellent bilan en sécurité du personnel tout en ayant un système de sécurité des procédés en voie de dégradation, faute d'indicateurs avancés (Leading KPIs) sur l'intégrité mécanique ou la gestion des alarmes.[2]
- Insuffisance des mesures de prévention collective : Les mesures techniques de prévention des risques professionnels classiques, comme la ventilation d'un atelier, ont un impact très faible sur les risques industriels majeurs, car la pollution dangereuse s'étend souvent bien au-delà des limites des locaux, à l'air libre. [8]
- Approche structurelle vs Approche technique : La structure HLS (High Level Structure), bien qu'efficace pour l'intégration administrative, reste généraliste. Elle ne détaille pas les exigences rigoureuses nécessaires à la maîtrise de paramètres de procédés critiques tels que la pression, la température ou les réactions chimiques complexes [9]

I.4.2 La nécessité d'une approche spécifique

Face à ces limites, l'industrie a dû développer des systèmes dédiés, marquant le passage de la sécurité « personnelle » à la sécurité des procédés (Process Safety). Cette nécessité repose sur plusieurs piliers fondamentaux non couverts par les ISO :

- La gestion de l'intégrité technique : L'approche spécifique impose une surveillance stricte des systèmes-structures-composants sensibles tout au long du cycle de vie de l'installation, de la conception à la déconstruction. [2]
- Des outils d'analyse de risques robustes et dédiés : Contrairement à l'évaluation des risques SST classique, la sécurité des procédés exige des méthodes analytiques poussées comme l'HAZOP (Hazard and Operability Study) pour identifier les dérives de paramètres, ou l'AMDEC pour évaluer la criticité des défaillances matérielles. Des outils comme la méthode LOPA (Layers of Protection Analysis) permettent de quantifier et de s'assurer que les couches de protection sont suffisantes face à un scénario accidentel. [10]
- Le Management du Changement (MOC) : Élément clé souvent sous-traité de façon simpliste dans les systèmes ISO, le MOC est une pièce maîtresse de la sécurité des procédés. Il garantit que toute modification (technique, organisationnelle ou de personnel) fait l'objet d'un examen systématique pour ne pas introduire de nouveaux modes de défaillance. [5]
- La culture de la résilience : L'approche spécifique cherche à aider les personnes sous pression à faire face à la complexité. Un système est considéré sous contrôle non seulement s'il suit des

procédures, mais s'il est capable d'amortir ou d'éliminer des perturbations non désirées imprévues lors de la conception initiale. [9]

- Planification d'urgence à grande échelle (PPI) : Lorsque l'accident est susceptible de dépasser les limites de l'établissement, une organisation de secours particulière, incluant les autorités publiques et les populations avoisinantes, doit être rodée, dépassant largement le cadre de la simple évacuation incendie prévue par l'ISO 45001. [8]

Conclusion

Les systèmes de management représentent un domaine fondamental pour toute organisation souhaitant structurer sa performance et maîtriser ses risques. Nous observons que les normes génériques (ISO 9001, 14001, 45001) constituent un socle utile pour la gestion courante, mais elles montrent leurs limites face aux risques d'accidents majeurs. Il est à noter qu'un système de management, aussi bien conçu soit-il, ne peut garantir à lui seul la prévention des catastrophes industrielles sans une approche spécifique dédiée à la sécurité des procédés, qui fera l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE II :
La sécurité des procédés (PSM) et son cadre réglementaire

Introduction :

Pour maîtriser les risques d'accidents majeurs dans les industries à haut risque, il est impératif de comprendre la sécurité des procédés (PSM), ses concepts fondamentaux et sa distinction par rapport à la sécurité du travail. De plus, une connaissance approfondie des phénomènes dangereux (incendie, explosion, dispersion toxique) ainsi que du cadre réglementaire (international et algérien) est essentielle pour appréhender les enjeux opérationnels. Ce chapitre s'attache à explorer ces aspects fondamentaux pour préparer l'étude de cas qui sera présentée dans les chapitres suivants.

II. LA SÉCURITÉ DES PROCÉDÉS

Dans les industries chimiques, pétrochimiques ou gazières, la sécurité ne peut pas se résumer à porter un casque ou des gants. Elle doit aussi s'attaquer à ce qui pourrait provoquer une explosion, un nuage toxique ou un incendie majeur. C'est précisément l'objet de la sécurité des procédés : une discipline technique et managériale qui vise à prévenir les accidents majeurs en s'intéressant à l'intégrité des installations, à la maîtrise des réactions chimiques et à la fiabilité des barrières de sécurité [5]

II.1 Définition et périmètre de la sécurité des procédés

La sécurité des procédés peut être définie comme une démarche de prévention des rejets involontaires de substances dangereuses ou d'énergie. Elle repose sur un mélange de compétences en ingénierie et en management pour empêcher des événements comme les explosions, les incendies ou les dispersions de gaz toxiques. L'objectif est d'assurer l'intégrité des équipements tout au long de leur vie, de la conception jusqu'à la mise au rebut [5] [2]

II.1.1Définition selon CCPS et OSHA

II.1.1.1 Définition selon le CCPS (Center for Chemical Process Safety)

Le CCPS définit le PSM comme « l'application de principes et de systèmes de gestion pour la réduction des risques d'accidents majeurs et l'amélioration de la performance des industries de procédés ». Plus largement, il est décrit comme un système de gestion axé sur la prévention, la préparation, l'atténuation et la réponse aux rejets catastrophiques de produits chimiques ou d'énergie provenant d'un procédé. Il s'agit d'un ensemble d'activités formellement établies et documentées pour identifier et contrôler les dangers afin de prévenir les blessures et les incidents liés aux procédés [2]

II.1.1.2 Définition selon l'OSHA (Occupational Safety and Health Administration)

L'OSHA définit officiellement le PSM comme « un outil analytique axé sur la prévention des rejets de toute substance définie comme un produit chimique hautement dangereux ». Dans un cadre réglementaire (norme 29 CFR 1910.119), l'OSHA impose un système de gestion composé de 14 éléments obligatoires visant à prévenir ou à atténuer les effets de rejets catastrophiques de produits chimiques toxiques, réactifs, inflammables ou explosifs. Cette approche se concentre sur les installations manipulant des substances dangereuses au-delà de certains seuils de quantité [11]

II.1.2 Différence entre sécurité du travail et sécurité des procédés

Dans un environnement industriel à haut risque, il est impératif de distinguer la sécurité du travail (souvent appelée sécurité personnelle ou santé et sécurité au travail - SST) de la sécurité des procédés. Bien que ces deux disciplines partagent l'objectif ultime de protection, elles diffèrent fondamentalement par la nature de leurs risques, leurs mécanismes de contrôle et leur philosophie de gestion. [9]

A. Définition et Focus Opérationnel

- Sécurité du Travail (SST) : Elle se concentre sur la protection de l'individu contre les blessures et les maladies professionnelles liées à l'exécution de tâches spécifiques sur son poste de travail. Son champ d'action concerne des risques physiques ou chimiques directs, tels que les chutes de plain-pied, les coupures, ou les brûlures par contact avec une surface chaude. [9]
- Sécurité des Procédés : Elle est définie comme une combinaison de compétences en ingénierie et en gestion visant à prévenir les incidents majeurs liés au fonctionnement des installations. Elle se concentre sur l'intégrité de l'installation pour prévenir les rejets involontaires de substances dangereuses ou d'énergie, protégeant ainsi le « confinement » et le « flux » plutôt que le simple geste de l'opérateur. [9]

B. La Dualité Fréquence / Gravité

- Une distinction majeure réside dans le positionnement des événements sur la matrice des risques :
- Les accidents du travail sont généralement fréquents mais de gravité limitée à l'individu (ex: une entorse). Ils sont souvent visibles et prévisibles, ce qui peut mener l'organisation à mesurer son succès uniquement par le nombre de jours sans accident corporel. [9]
- Les accidents de procédés sont des événements à faible probabilité (parfois jamais vécus sur un site) mais aux conséquences catastrophiques. Un seul échec de la sécurité des

procédés peut entraîner une perte de confinement (LOPC), provoquant des explosions, des incendies ou des nuages toxiques menaçant l'usine, les populations civiles et l'environnement extérieur. [9]

C. Nature des Barrières et Maîtrise des Risques

- Barrières SST : Elles reposent largement sur le comportement humain, le respect des procédures de travail, la signalisation et les équipements de protection individuelle (EPI). La sécurité dépend ici de la discipline individuelle de chaque travailleur face à des dangers simples en apparence. [9]
- Barrières de Sécurité des Procédés : Elles sont essentiellement d'ordre technique et organisationnel. [9] Le système repose sur la sécurité dès la conception (Safety in Design), l'élimination des dangers à la source et l'intégrité mécanique des équipements critiques, tels que les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) ou les vannes d'arrêt d'urgence (ESDV). Des processus rigoureux comme le Management du Changement (MOC) sont indispensables pour garantir qu'aucune modification ne compromette les protections d'origine. [5]

D. Indicateurs de Performance (KPIs)

- Le pilotage de ces deux domaines exige des métriques distinctes :
- Indicateurs SST : On utilise classiquement des indicateurs « retardés » (lagging), tels que les taux de fréquence (TF) et de gravité (TG) basés sur les blessures passées. [3]
- Indicateurs de Sécurité des Procédés : Le succès ne peut être mesuré par l'absence d'accident majeur. Il est nécessaire d'utiliser une combinaison d'indicateurs « avancés » (leading), qui mesurent la santé des barrières de sécurité (ex: respect du calendrier d'inspection, traitement du carnet de maintenance), et d'indicateurs « retardés » qui capturent les signaux faibles comme les petites fuites ou les déclenchements intempestifs de systèmes de sécurité. [12]

II.1.3 Le domaine d'application (approche internationale)

La sécurité des procédés s'applique partout où des produits chimiques, du pétrole, du gaz ou des poussières combustibles sont produits, manipulés ou stockés. Elle concerne l'intégralité du cycle de vie d'une installation : conception, construction, exploitation, modifications et démantèlement.
À l'international, plusieurs cadres coexistent :

- La directive Seveso (en Europe) impose le recensement des sites à hauts risques et des politiques de prévention des accidents majeurs [13]
- Des normes comme l'API 750 (American Petroleum Institute) fournissent des pratiques recommandées pour l'industrie pétrolière et gazière [5]

- Les lignes directrices du CCPS sont principalement conçues pour les installations fixes ; elles ne s'appliquent pas directement au transport maritime ou terrestre de matières dangereuses [2]
- Néanmoins, partout dans le monde, les systèmes de management de la sécurité des procédés partagent une construction similaire et s'appuient sur les meilleures pratiques mondiales [5]

II.2 La sécurité des procédés en Algérie

Le dispositif réglementaire algérien en matière de sécurité industrielle a été profondément restructuré pour garantir une maîtrise rigoureuse des risques technologiques. Il repose sur une hiérarchie de textes qui définissent les obligations des exploitants, les périmètres d'intervention et les outils de gestion de l'intégrité technique.

II.2.1 La loi des hydrocarbures 19-13

La loi n° 19-13 du 11 décembre 2019 constitue le cadre de référence pour l'ensemble du secteur énergétique national. Elle impose une approche de sécurité intégrée dès la définition des activités. [14]

- Périmètre des activités : La loi distingue deux grands domaines :
  - Activités Amont : Incluent la prospection, la recherche, l'appréciation, le développement et l'exploitation, ainsi que les infrastructures de séparation, de compression et de stockage sur site.
  - Activités Aval : Comprennent le transport par canalisation, le raffinage, la transformation (pétrochimie, liquéfaction du gaz), le stockage et la distribution. [14]
- Principes de conduite (Article 6) : Les activités doivent impérativement être menées selon les meilleures techniques et pratiques internationales pour prévenir et gérer les risques. L'objectif est d'assurer la conservation des gisements et une récupération optimale tout en protégeant l'environnement. [14]
- Obligations HSE (Article 10) : L'exploitant est légalement tenu de respecter les obligations relatives à la sécurité et à la santé des personnes, à l'hygiène, à la salubrité publique, et à la protection des ressources aquifères et biologiques. [14]
- L'Étude de Dangers (EDD) comme condition d'exploitation (Article 156) : La mise en service de toute installation est conditionnée par l'obtention d'une autorisation d'exploitation. Celle-ci n'est délivrée qu'après l'approbation préalable par l'Autorité de Régulation des Hydrocarbures (ARH) d'une Étude de Dangers (EDD) et d'une Étude d'Impact sur l'Environnement (EIE). [14]

- Contrôle technique : L'ARH veille à l'application des règles garantissant l'intégrité des puits et des installations, et approuve les dossiers techniques des équipements sous pression (ESP) et électriques [14]

II.2.2 Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Le décret exécutif n° 07-144 définit la nomenclature nationale des installations présentant des dangers pour la santé ou l'environnement.

- Structure de classification : Le décret utilise un numéro de rubrique à quatre chiffres :
  - Le 1er chiffre identifie la substance utilisée ou l'activité (ex: 1000 pour les substances, 2000 pour les activités). [15]
  - Le 2ème chiffre définit la catégorie de danger : très toxique, toxique, inflammable, comburante, explosible, corrosive ou combustible.
  - Les deux derniers chiffres précisent le type d'activité. [15]
- Régimes de contrôle : Le décret détermine, pour chaque rubrique, le régime applicable : Autorisation Ministérielle (AM), du Wali (AW), du Président de l'APC (APAPC) ou simple Déclaration (D).
- Articulation spécifique : Bien que les installations d'hydrocarbures soient répertoriées dans cette nomenclature technique, elles bénéficient d'un régime d'autorisation d'exploitation spécifique défini par le décret 21-319. Elles restent cependant soumises au contrôle environnemental et à la fiscalité écologique (taxe sur les activités polluantes). [15]

II.2.3 décret 21-319

Le décret exécutif n° 21-319 du 14 août 2021 précise les modalités du régime d'autorisation spécifique et introduit l'obligation fondamentale du Système de Gestion de la Sécurité (SGS).

- La procédure d'autorisation : Elle se déroule en deux phases :
  1. Phase préalable : Obtention d'un accord préalable de création basé sur l'examen des études de dangers et d'impact. [16]
  2. Phase post-construction : Délivrance de l'autorisation d'exploitation finale après visite de conformité de la Commission hydrocarbures et obtention des autorisations de mise en produit. [16]
- Mise en place du SGS (Article 18) : L'exploitant a l'obligation de soumettre à l'ARH son SGS pour approbation dans un délai de six (6) mois après l'obtention de l'autorisation d'exploitation. [16]

- Les 11 éléments constitutifs du SGS : Le système doit impérativement intégrer les piliers suivants pour assurer l'intégrité technique : [16]

1. L'organisation et la formation (définition des rôles et compétences).
2. L'identification et l'évaluation systématique des risques.
3. Le contrôle des opérations (exploitation et maintenance).
4. La gestion de la sécurité des procédés (maîtrise technique des flux et énergies).
5. La gestion de l'intégrité des installations et ouvrages.
6. La gestion des modifications (MOC) (contrôle des changements techniques/organisationnels).
7. La gestion des situations d'urgence.
8. La gestion de la sous-traitance.
9. La déclaration et l'investigation des accidents (retour d'expérience).
10. La surveillance des performances (indicateurs de sécurité).
11. L'audit et la revue périodique.



Figure 3 : Les 11 éléments de Système de Gestion de la Sécurité (SGS) axés sur l'amélioration continue.

II.3 Les phénomènes dangereux

Le management de la sécurité des procédés s'articule autour de la maîtrise de trois phénomènes physiques et chimiques majeurs résultant généralement d'une perte de confinement primaire (LOPC).

Ces phénomènes génèrent des effets thermiques, mécaniques ou toxiques pouvant impacter l'homme, les biens et l'environnement.

A. Incendie

- **Description brève :**

  Un incendie est une manifestation thermique résultant de la combustion d'un produit inflammable. Il nécessite la réunion de trois éléments formant le « triangle du feu » : un combustible (gaz, liquide ou solide), un comburant (généralement l'oxygène de l'air) et une source d'énergie d'activation (étincelle, chaleur, flamme). Dans l'industrie, cela peut se traduire par des feux de nappe (pool fires), des feux torches (jet fires) ou des feux de nuage (flash fires). [10]

- **Exemple historique – Buncefield (Royaume-Uni, 2005) :**

  Lors du remplissage d'un bac d'essence, la jauge de niveau s'est bloquée et le commutateur de sécurité indépendant (high-level switch) était inopérant faute de tests périodiques. Le débordement a formé un nuage de vapeur inflammable qui a explosé, provoquant un incendie géant qui a duré plusieurs jours et détruit la salle de contrôle ainsi que des bureaux voisins [12]

- **Bénéfice pour le management du risque industriel** :

  Cet accident a imposé le test périodique obligatoire des barrières de sécurité critiques (vannes d'arrêt d'urgence, détecteurs de gaz) et la surveillance systématique des dérives instrumentales des exigences aujourd'hui intégrées dans tout système de management de la sécurité des procédés (PSM) [12]



Figure 4 : Incendie géant du dépôt de carburant de Buncefield (2005) : Vue aérienne du panache de fumée.

B. Explosion

- **Description brève :**

  L'explosion est une libération brutale d'énergie accompagnée d'une onde de choc (surpression) et de flammes. Elle résulte de la combustion quasi instantanée d'un mélange inflammable ou de la rupture physique d'une capacité sous pression. On distingue les explosions en milieu confiné (VCE) ou non confiné (UVCE), ainsi que les BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) lors de la rupture d'un réservoir de gaz liquéfié. [12]

- **Exemple historique : Raffinerie de Texas City (2005, États-Unis)**

  Lors du redémarrage d'une unité d'isomérisation, des lectures erronées ont entraîné un surremplissage de la tour. Des bureaux mobiles (caravanes) avaient été installés à proximité sans étude d'impact. La direction, focalisée sur les seuls indicateurs d'accidents du travail, tolérait des équipements dégradés (normalisation de la déviance). L'explosion a causé 15 morts et 180 blessés. [12]

- **Bénéfice pour le management du risque industriel** :

  Cette catastrophe a démontré la nécessité d'un Management du Changement (MOC) rigoureux pour toute modification organisationnelle ou spatiale, d'indicateurs proactifs (leading KPIs) pour la sécurité des procédés, et d'une revue de sécurité pré-démarrage (PSSR). Ces pratiques sont désormais au cœur des référentiels PSM [12]



Figure 5 : Explosion de la raffinerie de Texas City (2005) et aperçu des dommages structurels majeurs sur site.

C. Dispersion toxique

- **Description brève :**

  La dispersion toxique correspond au rejet et à la propagation de substances chimiques nocives dans l'atmosphère, l'eau ou le sol. Le danger provient de la toxicité intrinsèque du produit, dont l'impact sur la santé humaine dépend de la concentration et de la durée d'exposition. Les effets peuvent être immédiats (asphyxie, œdème du poumon) ou différés (pathologies chroniques) [12]

- **Exemple historique Seveso (Italie 1976)** :

  Lors d'un arrêt hebdomadaire de l'usine, une réaction exothermique incontrôlée s'est produite faute de refroidissement. La soupape de sécurité a déchargé directement à l'atmosphère sans aucun système de rétention. La direction a dissimulé la nature de la fuite, retardant l'alerte des populations. Le nuage de dioxine (TCDD) a contaminé 2 000 hectares, exposé 37 000 personnes et provoqué des maladies cutanées durables [12]

- **Bénéfice pour le management du risque industriel** :

  Seveso est à l'origine des directives européennes éponymes qui imposent la cartographie des risques, les plans d'urgence externes (PPI) et l'information des populations riveraines. Ces exigences sont aujourd'hui des composantes essentielles de tout système de management du risque industriel [12]



Figure 6 : Dispersion toxique d'un nuage de dioxine (TCDD) à Seveso, illustrant la phase post-accidentelle de confinement des terres.

II.4 : LIMITE : LA SÉCURITÉ DES PROCÉDÉS RESTE UN OBJECTIF, PAS UN SYSTÈME

Cette section explore la distinction fondamentale entre le « système » (le cadre organisationnel PSM) et la « finalité » (la sécurité réelle des installations). L'expérience industrielle montre que de nombreuses organisations voient leurs performances stagner ou décliner lorsqu'elles traitent la sécurité comme un simple exercice de conformité documentaire plutôt que comme un objectif de performance dynamique [9]

II.4.1 La sécurité comme finalité de performance technique

La sécurité des procédés est, par essence, une finalité de performance. Le véritable succès du système ne réside pas dans la réussite d'un audit de conformité, mais dans la réduction factuelle de la fréquence et de la gravité des incidents liés aux rejets de substances dangereuses. [1]

- La primauté du résultat : L'objectif ultime est d'empêcher physiquement la perte de confinement primaire (LOPC). Un système documentaire, aussi complet soit-il, n'est qu'un outil pour atteindre cet état de maîtrise technique. [5]
- Un état dynamique et permanent : Contrairement à un projet de construction qui a une date de fin, la sécurité des procédés est décrite comme un « voyage » sans point d'arrivée défini. Elle nécessite une vigilance quotidienne pour maintenir les équipements dans leur enveloppe de fonctionnement sûr. [12]

II.4.2 Les causes de stagnation du management (Le piège du système)

Les sources identifient plusieurs raisons pour lesquelles un système de management peut échouer à atteindre ses objectifs de sécurité :

- L'approche « Projet unique » : Le PSM est souvent mis en œuvre comme un projet ponctuel. Une fois les procédures écrites, l'organisation relâche son effort, oubliant que le management de la sécurité est un processus itératif qui doit évoluer avec les changements de personnel et de technologie.
- La sur-accentuation administrative : Une limite critique survient lorsque les systèmes de gestion sont sur-formalisés au détriment des aspects techniques (calculs d'ingénierie, intégrité mécanique, cinétique chimique) qui contrôlent réellement les dangers.
- L'illusion du succès par les indicateurs SST : Les entreprises tombent souvent dans le piège de croire que de bons taux de sécurité « personnelle » (absence de chutes ou de blessures mineures) garantissent une sécurité des « procédés » optimale. Or, les risques de catastrophes majeures peuvent s'aggraver en silence malgré d'excellentes statistiques de sécurité au travail.

II.4.3 Le rôle crucial de la culture organisationnelle

La limite la plus importante d'un système est qu'il ne peut pas « fabriquer » de la sécurité sans une culture appropriée. La culture de la sécurité des procédés est définie comme le résultat de la mémoire collective et de l'engagement de la direction.

- Le moteur de l'action : C'est la culture qui détermine ce que le personnel fait réellement « quand personne ne regarde ». Un système de management qui n'est pas aligné avec la culture réelle de l'usine est voué à l'échec sur le long terme.
- Complaisance face au succès : L'absence prolongée d'accidents majeurs peut paradoxalement devenir une limite, créant un sentiment de vulnérabilité amoindri et une réduction des ressources allouées à la prévention. [2]

II.4.4 L'évolution vers le management basé sur le risque (RBPS)

Pour dépasser ces limites, l'approche moderne du CCPS prône la RBPS (Risk-Based Process Safety). Ce concept stipule que le système doit être flexible et proactif :

- L'énergie proportionnelle au danger : L'objectif est de mettre « juste assez » d'énergie et de ressources dans chaque activité pour répondre au besoin réel de sécurité, évitant ainsi la bureaucratie inutile tout en se concentrant sur les risques les plus élevés. [2]
- Apprentissage et remise en cause : L'amélioration continue ne consiste pas à stabiliser un système figé, mais à utiliser le retour d'expérience (REX) pour faire évoluer les barrières de sécurité et s'adapter aux nouveaux défis technologiques. [2]

II.5 Définition et origines (CCPS) et spécificité du PSM

Le management de la sécurité des procédés a franchi une étape décisive avec l'introduction du cadre de référence Risk-Based Process Safety (RBPS), conçu pour transformer la gestion de la sécurité en un levier de performance durable et d'excellence opérationnelle.

II.5.1 Définition du PSM selon CCPS (Risk-Based Process Safety)

A. Origines et évolution du concept Le CCPS a été fondé en 1985 par l'American Institute of Chemical Engineers (AIChE) en réponse directe aux catastrophes majeures de Bhopal (Inde) et de Mexico City survenues en 1984. Initialement, le CCPS s'est concentré sur la diffusion de connaissances techniques, publiant ses premières lignes directrices en 1989. Cependant, après une période de progrès initiaux, le CCPS a constaté une stagnation des performances de sécurité dans l'industrie, marquée par des audits révélant des problèmes chroniques dont on traitait les symptômes plutôt que les causes racines techniques et culturelles. Pour rompre avec ce plateau de performance, le CCPS a publié en 2007 le cadre de « nouvelle génération » : le RBPS. [2]

B. Définition technique

- Le Management de la Sécurité des Procédés (PSM) : Il est défini globalement comme un système de gestion axé sur la prévention, la préparation, l'atténuation et la réponse aux rejets catastrophiques de produits chimiques ou d'énergie liés aux procédés d'une installation. [2]
- Le Risk-Based Process Safety (RBPS) : Il s'agit de l'approche spécifique du CCPS qui utilise des stratégies basées sur le risque et des tactiques de mise en œuvre proportionnées (commensurate) au besoin réel de sécurité, à la disponibilité des ressources et à la culture organisationnelle en place. Contrairement aux systèmes rigides, le RBPS n'est pas une obligation de conformité mais une attente de performance technique. [2]

C. Objectifs du RBPS

L'objectif central de l'approche RBPS est de construire et d'opérer des systèmes de management plus efficaces et efficients. Ses buts spécifiques incluent :

- La focalisation stratégique des ressources : Reconnaissant que tous les dangers et risques ne sont pas égaux, le RBPS vise à concentrer les efforts et les ressources sur les dangers les plus significatifs et les risques les plus élevés. [2]
- L'amélioration de la performance globale : En ciblant mieux les risques, l'organisation réduit non seulement la fréquence des incidents, mais améliore aussi sa performance environnementale et ses résultats commerciaux à long terme. [2]
- La cohérence systémique : Le RBPS aide à identifier et à combler les lacunes techniques tout en évitant les incohérences, le "sur-travail" administratif (gaspillage de ressources sur des risques mineurs) ou le "sous-travail" (négligence des risques critiques) qui mènent inévitablement à la défaillance. [2]
- L'intégration holistique : Le système est conçu pour être totalement cohérent avec les opérations de fabrication, la qualité, la fiabilité et la sécurité au travail. [2]

D. Spécificité de l'approche basée sur les risques

L'approche RBPS se distingue des systèmes génériques par sa flexibilité et sa rigueur scientifique :

- Le risque comme variable de conception : Dans le modèle RBPS, le niveau de risque est le critère primaire qui guide la conception du système. Mathématiquement, le risque est la variable indépendante et les ressources sont la variable dépendante : l'effort doit donc être ajusté dynamiquement en fonction de la dangerosité réelle. [2]
- Les trois piliers du dimensionnement : L'intensité et la rigueur des pratiques de sécurité sont déterminées par trois facteurs critiques : (1) la compréhension approfondie des risques, (2) le niveau de demande pour l'activité (charge de travail), et (3) la culture de sécurité de l'organisation. [2]

- Un changement de paradigme : On passe d'une stratégie « basée sur la conformité » (compliance-based), où l'on fait le minimum légal, à une stratégie « basée sur le risque » (risk-based), où l'on fait ce qui est techniquement nécessaire pour garantir l'intégrité. [2]
- Une structure en 4 piliers et 20 éléments : Contrairement aux modèles antérieurs (comme les 14 éléments de l'OSHA), le RBPS organise la sécurité autour de quatre piliers fondamentaux interdépendants qui couvrent tout le cycle de vie de l'installation :
    1. S'engager pour la sécurité des procédés (Culture de sécurité, implication des travailleurs, etc.).
    2. Comprendre les dangers et les risques (Gestion des connaissances, analyse des risques).
    3. Gérer les risques (Procédures, intégrité mécanique, gestion des changements, urgences).
    4. Apprendre de l'expérience (Enquêtes sur les incidents, métriques, audits et revues de direction). [2]

II.5.2 Spécificité du PSM par rapport aux autres systèmes de management

Le Management de la Sécurité des Procédés se différencie des cadres de gestion génériques (comme l'ISO 45001 ou l'ISO 9001) par sa focalisation sur l'intégrité technique et la prévention de phénomènes physiques aux conséquences irréversibles. Alors que les systèmes classiques gèrent souvent des risques liés aux tâches individuelles, le PSM impose une rigueur scientifique pour maîtriser les énergies et substances dangereuses sur tout le cycle de vie des installations. [5]

A. Focus sur les accidents majeurs (vs Sécurité au Travail)

La distinction la plus critique réside dans la nature des événements gérés :

- Gravité vs Fréquence : La sécurité au travail classique traite des risques à haute fréquence mais à faible gravité individuelle (chutes, glissades, blessures par outillage). Le PSM, à l'inverse, se concentre exclusivement sur les accidents à faible fréquence mais à conséquences catastrophiques pour l'homme, les biens et l'environnement. [5]
- L'objectif de Confinement : L'approche PSM est centrée sur la prévention de la Perte de Confinement Primaire (LOPC). Son but est de maintenir les matières dangereuses à l'intérieur des équipements pour éviter des incendies massifs, des explosions ou des nuages toxiques. [5]
- Le paradoxe des indicateurs : Un site peut afficher d'excellents taux de fréquence d'accidents du travail alors que ses barrières de sécurité des procédés sont en voie de dégradation. Le PSM exige donc des indicateurs de pointe (Leading indicators), comme le taux de réussite des tests de vannes d'arrêt d'urgence, plutôt que de simples statistiques de blessures. [5]

B. Approche par barrières de sécurité (Défense en profondeur)

Le PSM repose sur une philosophie de « défense en profondeur », partant du postulat que même le personnel le mieux formé ou l'équipement le plus moderne peut faillir.

- Couches de protection indépendantes (IPL) : La stratégie consiste à superposer plusieurs barrières (dispositifs techniques, alarmes, systèmes instrumentés, barrières physiques). Chaque barrière doit être indépendante des autres pour garantir que la défaillance de l'une n'entraîne pas l'échec automatique des suivantes.
- Analyse de l'efficacité : Le système utilise des outils comme la méthode LOPA (Layer of Protection Analysis) pour évaluer mathématiquement si les couches de protection sont suffisantes pour ramener le risque à un niveau acceptable (objectif ALARP). [5]

C. Importance de l'intégrité mécanique et de la gestion du changement

Le PSM accorde une importance capitale à deux piliers techniques souvent traités de manière trop superficielle dans les systèmes ISO :

1. L'Intégrité des Actifs (Mechanical Integrity) : Cet élément garantit que l'équipement est conçu, fabriqué et installé selon les standards de l'art, et qu'il reste apte au service (fit for purpose) tout au long de sa vie. Cela implique un programme d'ITPM (Inspections, Tests et Maintenance Préventive) rigoureux pour prévenir les ruptures imprévues dues à la corrosion ou à la fatigue du métal. [5]
2. Le Management du Changement (MOC) : Qualifié de système de contrôle des risques « minute par minute », le MOC est une pièce maîtresse pour s'assurer que toute modification (technique, organisationnelle ou de personnel) ne détériore pas le niveau de sécurité. L'histoire montre que de nombreuses catastrophes, comme celle de Flixborough, sont dues à des modifications temporaires n'ayant pas fait l'objet d'une analyse de risques rigoureuse.

   Le MOC est un élément clé du déploiement PSM, car c'est souvent sur le terrain que les modifications non contrôlées introduisent de nouveaux dangers [5]

II.6 Les piliers du PSM (20 éléments)

Le Center for Chemical Process Safety (CCPS) a structuré le Risk-Based Process Safety (RBPS) autour de 20 éléments interdépendants, regroupés en quatre piliers fondamentaux. Contrairement aux systèmes de management génériques (ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001) qui se concentrent sur des exigences administratives et des cycles PDCA, le RBPS place le risque réel au cœur de la conception du système.

Cette approche part du principe que tous les dangers et risques ne sont pas égaux. Par conséquent, l'effort et les ressources doivent être proportionnés à la gravité des conséquences potentielles et à la probabilité d'occurrence d'un accident majeur : [2]

II.6.1 Pilier 1 : S'engager pour la sécurité des procédés

Ce pilier est considéré comme la pierre angulaire de l'excellence en sécurité des procédés. Il vise à instaurer une culture où la sécurité est une valeur fondamentale. [2]

- Élément 1 : Culture de sécurité des procédés : Il s'agit de la combinaison des valeurs et des comportements du groupe qui dictent la manière dont la sécurité est gérée. Une culture saine intègre l'impératif de sécurité dans les valeurs de base et maintient un sens constant de la vulnérabilité.
- Élément 2 : Conformité aux normes : Ce système identifie, développe et fournit un accès aux normes, codes, réglementations et lois applicables. Il permet de maintenir une conscience institutionnelle des obligations légales et techniques. [2]
- Élément 3 : Compétence en sécurité des procédés : Cet élément englobe les efforts pour maintenir, améliorer et élargir les connaissances techniques au sein de l'organisation. Il s'assure que les leçons apprises sont partagées et appliquées. [2]
- Élément 4 : Implication de la main-d'œuvre : Il sollicite activement l'entrée de tout le personnel (employés et contractants) pour favoriser une relation consultative à tous les niveaux. Cela renforce le sentiment d'appropriation du système par les travailleurs. [2]
- Élément 5 : Communication avec les parties prenantes (Outreach) : Il consiste à établir un dialogue avec les communautés locales, les autorités et les entreprises voisines. Il vise à fournir des informations précises sur les risques et les plans de secours. [2]

II.6.2 Pilier 2 : Comprendre les dangers et les risques

Ce pilier constitue la fondation de l'approche basée sur le risque, permettant d'allouer les ressources là où elles sont le plus nécessaires.

- Élément 6 : Gestion des connaissances du procédé : Cet élément collecte et organise les informations techniques (données chimiques, technologiques et sur l'équipement). Ces connaissances sont vitales car elles servent de base à tous les autres éléments du système. [2]
- Élément 7 : Identification des dangers et analyse des risques (HIRA) : C'est un processus formel pour identifier ce qui peut mal tourner et évaluer si les risques sont contrôlés selon les critères de tolérance de l'organisation. Il utilise des méthodes comme l'HAZOP ou la LOPA. [2]

II.6.3 Pilier 3 : Gérer les risques

Ce pilier concerne l'exécution continue des tâches opérationnelles pour maintenir les procédés dans les limites de tolérance définies.

- Élément 8 : Procédures opérationnelles : Ce sont des instructions écrites étape par étape pour réaliser les tâches en toute sécurité (démarrage, arrêt, modes normaux et dégradés). Elles doivent être précises et disponibles au moment du besoin. [2]
- Élément 9 : Pratiques de travail sécuritaires (Safe Work) : Un ensemble de politiques et de permis (permis de feu, de pénétration, etc.) pour contrôler les risques lors des activités de maintenance ou de travaux non routiniers. [2]
- Élément 10 : Intégrité et fiabilité des actifs : Activités visant à garantir que l'équipement est conçu, installé et entretenu pour rester apte au service tout au long de sa vie. Cela repose sur des programmes d'inspection, de test et de maintenance préventive (ITPM).
- Élément 11 : Gestion des contractants : Système de contrôle pour s'assurer que les services sous-traités ne compromettent pas la sécurité de l'installation et que les contractants respectent les standards du site. [2]
- Élément 12 : Formation et assurance de la performance : Instruction pratique sur les tâches à accomplir et vérification que les travailleurs ont acquis les connaissances et compétences nécessaires pour travailler de manière indépendante. [2]
- Élément 13 : Gestion du changement (MOC) : Processus de révision et d'autorisation préalable à toute modification de la conception, des opérations ou de l'organisation pour éviter l'introduction de nouveaux dangers. [2]
- Élément 14 : Préparation opérationnelle (Readiness) : Vérifications rigoureuses effectuées avant le démarrage d'un procédé pour confirmer que l'installation et le personnel sont prêts. [2]
- Élément 15 : Conduite des opérations (Operations) : Exécution structurée des tâches de gestion pour institutionnaliser la poursuite de l'excellence et minimiser les variations de performance.[2]
- Élément 16 : Gestion des urgences : Planification et préparation pour répondre efficacement aux accidents afin de protéger les personnes, les biens et l'environnement. [2]

II.6.4 Pilier 4 : Apprendre de l'expérience

Ce pilier utilise les erreurs et les succès pour stimuler l'amélioration continue du système.

- Élément 17 : Enquête sur les incidents : Processus systématique pour identifier les causes racines techniques et managériales des incidents et des presque-accidents afin d'éviter leur répétition
- Élément 18 : Mesures et métriques : Utilisation d'indicateurs de performance KPI (rétrospectifs ou lagging) et de pointe (leading) pour surveiller l'efficacité du système en temps réel

- Élément 19 : Audit : Revue indépendante et périodique pour vérifier que le système RBPS est correctement mis en œuvre et conforme aux standards établis. [2]
- Élément 20 : Revue de management et amélioration continue : Évaluation régulière par la direction pour s'assurer que le système produit les résultats attendus et pour identifier les ajustements nécessaires [2]

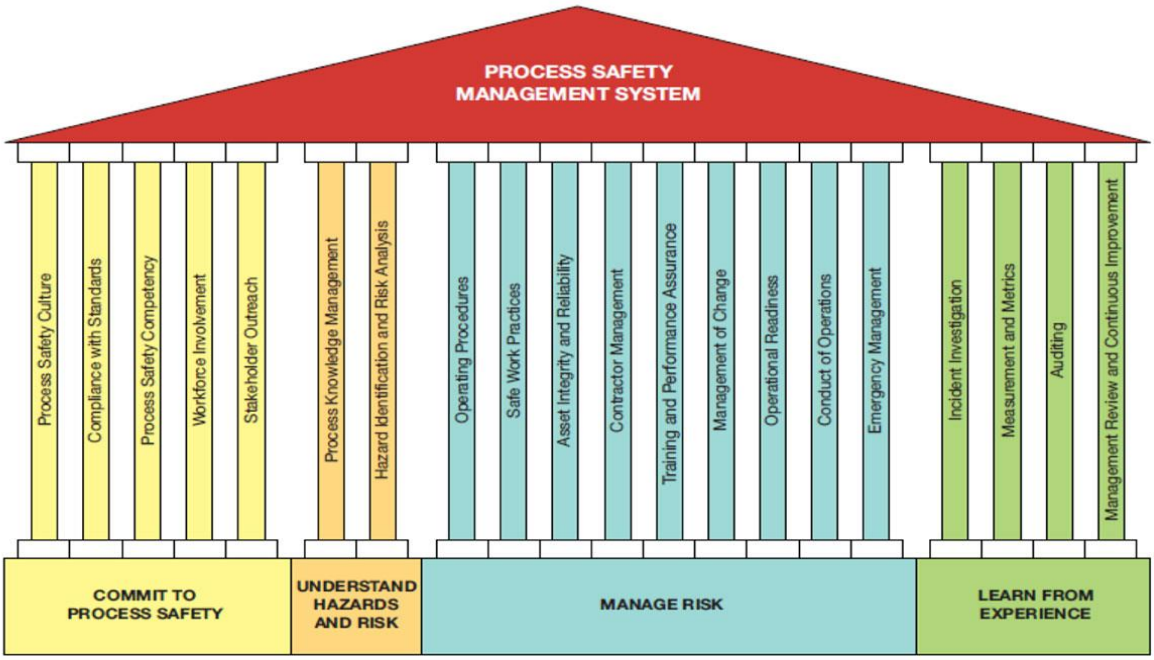


Figure 7: Piliers (Blocs de base) et éléments associés qui constituent un système robuste de gestion de la sécurité des procédés (RBPS).

Conclusion

La sécurité des procédés représente un domaine d'une grande étendue, témoignant des avancées considérables de l'industrie chimique et pétrochimique dans la maîtrise de ses risques majeurs. Nous observons l'existence de référentiels internationaux structurés (CCPS, OSHA) ainsi qu'un cadre réglementaire algérien en pleine évolution (loi 19-13, décrets 07-144 et 21-319). Il est à noter qu'une bonne compréhension des phénomènes dangereux (incendie, explosion, dispersion toxique) est indispensable avant toute mise en œuvre opérationnelle. Le chapitre suivant appliquera ces concepts au cas concret du complexe AOA.

CHAPITRE III :
Contexte opérationnel et préparation du déploiement (cas AOA)

Introduction :

Pour analyser concrètement le déploiement d'un système de management du risque industriel, il est impératif de présenter le contexte opérationnel du complexe AOA, ses risques majeurs et la préparation du projet PSM mené par le prestataire AIE. De plus, une compréhension des phases préparatoires (diagnostic, préparation, développement) est essentielle pour situer la phase de déploiement terrain. Ce chapitre s'attache à explorer ces aspects pour poser le cadre opérationnel de notre étude.

III.1 Présentation de l'usine AOA

III.1.1 Présentation générale d'AOA

AOA (El Sharika El Djazairia El Omania Lil Asmida) est une société par actions issue d'un partenariat stratégique entre Sonatrach (49 %) et le groupe omanais Suhail Bahwan Group (51 %). Créée le 8 avril 2008, la société a démarré sa production en décembre 2012. Elle a été constituée pour développer un complexe industriel de production d'engrais azotés à grande échelle. [17]

Les matières premières utilisées par le complexe sont : le gaz naturel (provenant du réseau RTO), l'oxygène et l'azote de l'air atmosphérique, le dioxyde de carbone (CO_2) extrait du procédé, ainsi que la vapeur d'eau générée par récupération de chaleur.

Le site est conçu comme une plateforme de production intégrée de classe mondiale caractérisée par les données suivantes :

- Superficie : environ 90 hectares (75 hectares exploitables), permettant une organisation spatiale rigoureuse des unités de production et des zones de stockage
- Unités d'ammoniac (NH_3) : deux lignes de production identiques utilisant le gaz naturel comme charge d'alimentation. Chaque unité a une capacité de 2 000 tonnes/jour, pour une production annuelle dépassant 1,3 million de tonnes.
- Unités d'urée granulée ($CO(NH_2)_2$) : deux unités de transformation de l'ammoniac en urée. Capacité unitaire de 3 500 tonnes/jour, totalisant près de 2,4 millions de tonnes par an
- Logistique de stockage :
  - Ammoniac : deux réservoirs cryogéniques de 15 000 tonnes maintenant le produit à -33 °C à pression atmosphérique.
  - Urée : deux hangars de stockage d'une capacité de 75 000 tonnes chacun.

- Autonomie énergétique : le site dispose d'une centrale électrique interne dotée de quatre générateurs à turbine à gaz (GTG) de 23 à 29 MW, d'une station de dessalement d'eau de mer et d'unités de traitement des effluents. [17]

Cette installation de grande envergure, par ses volumes de stockage et la nature des substances manipulées (ammoniac toxique, gaz naturel inflammable), constitue un site à risque majeur nécessitant un déploiement rigoureux du système PSM.



Figure 8 : Vue d'ensemble des installations industrielles du complexe d'engrais azotés AOA (Arzew).

III.1.2 Localisation et contexte industriel (zone d'Arzew)

L'implantation géographique du complexe **AOA** s'inscrit dans un pôle industriel de premier plan, ce qui définit à la fois ses capacités logistiques et ses contraintes de sécurité majeures.

- **Situation géographique et Superficie :** Le complexe est localisé dans la **wilaya d'Oran**, au Nord-ouest de l'Algérie. Il occupe un terrain d'une superficie totale de près de **90 hectares** (précisément 75 hectares et 47 centiares selon les données de la fiche technique). Le site est stratégiquement positionné à la **limite Est de la zone industrielle d'Arzew**, sur le territoire de la commune de **Mers El Hadjadj**. **Le pôle pétrochimique d'Arzew :** La zone pétrochimique d'Arzew est l'une des plus vastes et dynamiques du pays, s'étendant sur une superficie globale de **961,69 hectares**. Ce bassin industriel dense permet la coexistence de multiples activités et complexes de transformation

d'hydrocarbures, créant un environnement de haute technicité mais aussi une interdépendance entre les différents acteurs du site. [17]

- **Délimitation et environnement immédiat (Voisinage) :** Le positionnement d'AOA est caractérisé par des limites qui influencent directement son plan d'urgence et sa gestion des risques :
    - **Au Nord :** Le site est bordé par la **mer Méditerranée** et dispose de ses propres **quais de chargement** pour les navires, facilitant l'exportation massive d'ammoniac et d'urée.
    - **À l'Est :** Le complexe est mitoyen de l'agglomération de **Mers El Hadjadj** et des postes de la Police aux Frontières (PAF). Cette proximité immédiate avec une zone urbaine impose une maîtrise absolue des scénarios de dispersion toxique. **Au Sud :** La limite est marquée par des **habitats collectifs**, un ancien parc et l'axe routier principal desservant la zone industrielle.
    - **À l'Ouest :** AOA est voisin direct de la **centrale électrique de SONELGAZ** et du reste de la zone industrielle d'Arzew. Cette mitoyenneté avec une infrastructure énergétique critique souligne le risque d'effet domino en cas d'accident majeur [17]



Figure 9 : Vue satellite illustrant la délimitation géographique et l'environnement immédiat (voisinage) du complexe AOA.

Cette proximité avec d'autres installations industrielles et une zone habitée rend la maîtrise des risques particulièrement importante (risque d'effet domino, nuage toxique)

III.1.3 Synthèse des risques majeurs dans AOA

Le complexe industriel AOA, de par sa nature pétrochimique et l'ampleur de ses installations, est classé comme un site à haut risque industriel. La gestion de la sécurité des procédés y est critique car elle manipule des substances dangereuses sous des conditions de pression et de température extrêmes [17]

Tableau III.1 : Synthèse des dangers majeurs, substances critiques et conséquences accidentelles potentielles au sein du complexe AOA.

Source / Équipement concerné	Caractéristique	Conséquence potentielle
Ammoniac (NH_3)	Toxique, corrosive et inflammable	Formation d'un nuage toxique par évaporation brutale, inhalation mortelle (œdème du poumon), brûlures chimiques
Gaz naturel	Extrêmement inflammable, sous pression	Incendie, explosion (BLEVE, UVCE)
Stockage ammoniac	30 000 tonnes au total (2 x 15 000 t) à l'état liquide réfrigéré à -33°C [17]	Perte de confinement primaire massive, BLEVE (vaporisation explosive), nuage toxique qui peut cause une pollution environnementale durable
Équipements sous pression (réacteurs, canalisations)	Hautes pres sions et températures (ex: carbamate à > **200°C**)	Rupture mécanique, projection de **missiles**, éclatement avec onde de choc destructrice
Proximité des industries voisines (zone d'Arzew)	Densité industrielle élevée, mitoyenneté directe avec des infrastructures critiques	Effet domino

III.2 Le déploiement : mise en œuvre du système de management du risque industriel

III.2.1 Objectifs du déploiement

Le déploiement du système de Management de la Sécurité des Procédés (PSM) au sein du complexe AOA constitue la quatrième et plus critique phase d'un projet de transformation industrielle étalé sur 24 mois. Cette étape ne se limite pas à une simple validation administrative ; elle représente le passage d'une structure conceptuelle à une réalité opérationnelle de terrain où chaque barrière de sécurité doit être active et vérifiable.

Les objectifs fondamentaux de ce déploiement se déclinent selon trois axes stratégiques : l'opérationnalisation technique, le renforcement du capital humain et l'innovation par la performance. [18]

A. L'opérationnalisation technique et la maîtrise des risques majeurs

L'objectif technique prioritaire est de doter l'usine AOA d'un système **« bespoke »** (sur mesure), spécifiquement calibré pour les dangers inhérents à la synthèse d'ammoniac et d'urée, tels que les hautes pressions et les risques toxiques.

1. **Installation des processus de « Tier 1 » :** Le déploiement vise à ancrer les flux de travail (workflows) les plus critiques pour la sécurité des procédés, incluant la gestion des changements (**MOC**), l'intégrité des actifs et les enquêtes sur incidents. Il s'agit de définir précisément les rôles, les responsabilités et les interactions entre les services pour garantir qu'aucune défaillance technique ne passe inaperçue. [18]
2. **Fermeture physique des écarts (« Gap Closure ») :** Un but central est de s'assurer que les anomalies identifiées lors du diagnostic initial sont physiquement résolues. Ce processus exige une vérification rigoureuse des actions clôturées et une validation formelle par **« sign-off »**, garantissant ainsi que l'intégrité mécanique des installations est rétablie avant toute exploitation intensive. [18]
3. **Maintien des barrières de sécurité :** Le déploiement doit garantir que les barrières préventives et d'atténuation (vannes d'arrêt d'urgence **ESDV**, systèmes instrumentés de sécurité **SIS**) sont non seulement installées mais maintenues à un niveau de performance optimal tout au long de leur cycle de vie. [18]

B. L'ancrage de la culture et le transfert de compétences

Conformément aux principes de l'**ISO 9000**, le personnel est considéré comme une « ressource essentielle » dont le comportement dicte la performance du système.

1. **Leadership et engagement de la direction :** Le déploiement prévoit un coaching de haut niveau (Executive level) pour les cadres dirigeants, afin qu'ils établissent les orientations stratégiques et créent les conditions nécessaires à l'implication totale du personnel. [18]
2. **Montée en compétence opérationnelle :** Un objectif majeur est de former les opérateurs de terrain à la gestion des risques et de la sécurité. Cette formation vise à ce que chaque employé comprenne non seulement « comment » exécuter une tâche, mais surtout « pourquoi » elle est critique pour la prévention des accidents majeurs. [18]
3. **Communication efficace :** Le système doit assurer une communication interne fluide à tous les niveaux de l'organisme, renforçant ainsi l'adhésion des travailleurs aux objectifs de sécurité et leur compréhension du contexte de l'usine. [18]

C. Pilotage par la performance proactive et amélioration continue

Pour assurer la pérennité et l'efficacité réelle du système PSM, le déploiement fixe des objectifs de surveillance continue fondés sur l'analyse rigoureuse de données factuelles.

1. **Établissement d'une structure d'indicateurs de performance (KPIs) :** La mise en œuvre vise à instaurer des indicateurs de « Tier 1 », incluant à la fois des indicateurs prédictifs (*leading*) et rétrospectifs (*lagging*). Ces outils de mesure permettent de surveiller en temps réel la santé du système de management, de détecter les signaux faibles — tels que des dérives de paramètres ou des non-conformités mineures — et d'agir de manière préventive avant la survenue d'un événement majeur, notamment une perte de confinement (LOPC). [18]
2. **Promotion de la prise de décision fondée sur les preuves** : Le déploiement vise à ancrer une culture où les décisions stratégiques et opérationnelles s'appuient sur l'analyse systématique des résultats mesurables plutôt que sur la simple intuition. Cette approche garantit que les ressources sont allouées prioritairement aux barrières de sécurité identifiées comme les plus critiques ou les plus fragiles lors des phases de surveillance. [18]
3. **Pérennisation par l'amélioration continue (Cycle PDCA**) : Le déploiement s'inscrit dans la dynamique de la Roue de Deming (Planifier-Faire-Vérifier-Agir). Ce processus itératif assure que les constatations issues des audits internes et des revues de direction sont systématiquement transformées en actions correctives et préventives. L'objectif est de faire évoluer les pratiques de sécurité de manière constante pour s'adapter aux changements de contexte de l'usine. [18]

III.2.2 Constat : un avancement chiffré mais relatif

L'analyse de l'état actuel du projet de mise en œuvre du PSM au sein du complexe AOA révèle une dualité majeure entre la performance administrative et la réalité opérationnelle. Ce constat est essentiel pour justifier la nécessité de la phase de déploiement actuelle.

A. La dimension chiffrée : une progression structurelle indéniable Le projet, piloté par le prestataire AIE, a franchi des jalons contractuels significatifs qui fournissent une carrosserie robuste au système. Cet avancement se mesure par des livrables tangibles issus des phases précédentes :

- Production documentaire (Phase 3) : L'architecture globale du système est désormais finalisée, incluant le Standard PSM AOA, les objectifs stratégiques et les interactions entre les différents services. Les flux de travail les plus critiques, dits « Tier 1 » (gestion des changements, intégrité des actifs, enquêtes sur incidents), sont documentés avec leurs procédures de support et leurs indicateurs clés de performance (KPIs).
- Renforcement des capacités (Phase 2) : Un programme de formation intensif a permis de transférer des compétences de haut niveau. Cela inclut la formation de deux groupes sur la structure du PSM, ainsi que des sessions techniques spécialisées sur l'analyse HAZOP, la gestion de l'intégrité des actifs et l'investigation des incidents.
- Planification de la mise en œuvre : Une feuille de route détaillée a été établie pour encadrer la fermeture des écarts (Gap Closure) identifiés lors du diagnostic initial, avec un calendrier de suivi rigoureux.

B. La dimension relative : les limites d'un avancement chiffré Malgré ces chiffres encourageants, la maturité réelle du système reste « relative ». La sécurité des procédés ne peut se réduire à une simple conformité documentaire pour plusieurs raisons :

- Le risque du « Crunching Numbers » : Les sources soulignent qu'une focalisation excessive sur l'atteinte d'objectifs chiffrés (ex: 100 % de documents approuvés) peut masquer des faiblesses de fond. Par exemple, clore administrativement une action de maintenance n'est utile que si la barrière technique concernée (ex: une vanne d'arrêt d'urgence ESDV) est physiquement testée, fiable et certifiée par un processus de « sign-off » rigoureux.
- La culture de sécurité en transition : Un système peut être certifié complet sur le papier alors que les comportements de terrain n'ont pas encore intégré la discipline nécessaire. Le progrès est relatif tant qu'un sentiment de « vulnérabilité » face aux risques majeurs de l'ammoniac (toxicité) et de l'urée (haute pression) n'est pas partagé par l'ensemble du personnel.

- L'écart entre le prescrit et le réel : Tant que le système n'est pas confronté à la complexité des opérations quotidiennes, il reste une construction théorique dont l'efficacité n'est pas encore prouvée par l'absence d'événements de perte de confinement (LOPC).

III.2.3 Importance du déploiement par rapport à l'implantation complète

Le déploiement (Phase 4) constitue l'étape de vérité du projet. Si l'implantation complète désigne le cycle de vie global, le déploiement est le pivot central qui transforme une architecture conceptuelle en une force opérationnelle dynamique.

III.2.3.1 Le passage de la théorie à la pratique : du « prescrit » au « réel »

Cette sous-phase représente la transition fondamentale entre la conception et l'activité :

- L'arbitrage de l'opérateur : Selon les concepts ergonomiques, le déploiement permet de confronter le « travail prescrit » (les procédures rédigées en Phase 3) au « travail réel » .L'opérateur sur les unités d'ammoniac doit ajuster son activité face aux contraintes imprévues du procédé, et le déploiement assure que ces ajustements se font sans compromettre les barrières de sécurité.
- L'opérationnalisation des workflows : C'est le moment où les logigrammes deviennent des comportements systématiques. Par exemple, la Gestion du Changement (MOC) cesse d'être une procédure de bureau pour devenir une analyse de risque physique obligatoire avant toute modification sur un réacteur.
- La vérification physique : Le déploiement valide que les barrières de protection (systèmes instrumentés de sécurité SIS, protection incendie) sont physiquement fonctionnelles et maintenues selon les standards de l'IEC 61511.

III.2.3.2 La gestion de la transition et la résistance au changement

L'implantation d'un système PSM modifie profondément les relations de travail et peut générer des frictions :

- Le personnel comme « ressource essentielle » : Conformément à l'ISO 9000, la performance du complexe AOA dépend du comportement des individus au sein de la structure. Le déploiement vise à obtenir l'adhésion du personnel en facilitant les discussions ouvertes et le partage des connaissances.
- Surmonter les freins culturels : Les échecs sont souvent dus à des « obstacles culturels » ou des « règles non écrites » qui privilégient la production immédiate sur la rigueur du PSM. Le déploiement traite cela par un coaching de haut niveau pour aligner la direction sur une gestion stratégique du risque.

III.2.3.3 Le déploiement comme clé de passage de la théorie à la pratique

Le déploiement (Phase 4) constitue le « moment de vérité » de la démarche de Management de la Sécurité des Procédés (PSM) au sein du complexe AOA. Si les phases précédentes ont permis de concevoir une architecture robuste, le déploiement est le processus vital par lequel ces concepts s'incarnent dans les gestes quotidiens des opérateurs. Cette transition est indispensable pour transformer une sécurité « sur papier » en une résilience industrielle effective.

A. La confrontation du « travail prescrit » à la réalité du « travail réel »

L'enjeu majeur de cette étape est de combler l'écart inhérent à toute organisation industrielle complexe :

- Le cadre prescrit : Lors de la phase de développement, l'ingénierie et le prestataire AIE ont défini le Standard PSM, les procédures de « Tier 1 » et les logigrammes de sécurité. Ce sont des instructions théoriques dictant comment l'organisme *doit* fonctionner.
- La complexité du réel : L'ergonomie souligne que « travailler ce n'est pas appliquer un programme ». L'opérateur sur les unités d'ammoniac ou d'urée doit arbitrer et ajuster constamment son activité face aux stimuli du procédé (dérives de pression, alarmes, conditions climatiques).
- L'arbitrage du déploiement : Cette phase permet d'éprouver la pertinence des procédures face aux contraintes du terrain. Elle vérifie que les barrières de sécurité (vannes ESDV, systèmes instrumentés SIS) sont non seulement documentées, mais physiquement opérationnelles et maintenues selon des critères de performance rigoureux (temps de réponse, étanchéité).

B. L'opérationnalisation de la Discipline Opérationnelle (OD)

Le passage à la pratique se manifeste par l'instauration d'une discipline opérationnelle, pilier central de la sécurité des procédés :

- Définition technique : L'OD est l'exécution des tâches de gestion et d'exploitation de manière délibérée, fidèle et structurée. Le déploiement garantit que les responsables veillent à ce que les travailleurs exécutent les tâches requises conformément aux standards.
- La validation physique (« Sign-off ») : Contrairement aux phases documentaires, le déploiement exige une vérification physique de la clôture des écarts (*Gap Closure*). Le processus de « sign-off » apporte la preuve objective que chaque action corrective est réellement implémentée sur les équipements, rétablissant l'intégrité mécanique avant toute exploitation intensive.

- L’ancrage des workflows critiques : C'est ici que des processus comme le Management du Changement (MOC) cessent d'être des schémas théoriques pour devenir des barrières actives, assurant qu'aucune modification technique n'introduit de nouveaux risques sans analyse préalable.

C. Le déploiement comme garant de l'objectif ALARP

La finalité ultime de ce passage à la pratique est la démonstration de la maîtrise du risque résiduel :

- Atteindre le niveau ALARP : Le déploiement est l'étape où l'on vérifie que les risques sont maintenus à un niveau « aussi bas que raisonnablement possible » (ALARP) par la mise en œuvre effective de barrières de prévention et de protection additionnelles.
- Le contrôle de la performance : La résilience du système nécessite un contrôle continu. Un système est considéré « sous contrôle » s'il est capable d'amortir ou d'éliminer les perturbations non désirées via une surveillance stricte des indicateurs de performance (KPIs).

D. La fiabilité humaine, enjeu central du déploiement

En me focalisant sur cette « clé de passage », notre travail analyse le maillon final de la chaîne de sécurité : la fiabilité humaine. Un système parfaitement conçu échouera s'il n'est pas exécuté avec une rigueur absolue par le personnel de terrain. Étudier le déploiement permet d'évaluer l'interaction entre l'homme et la barrière technique, garantissant que les opérateurs disposent des compétences et des outils nécessaires pour maintenir l'enveloppe de sécurité opérationnelle, même sous pression.

III.2.4 Rétrospective des phases fondatrices (Réalisées par AIE)

Le succès du déploiement opérationnel (Phase 4) repose sur un socle de trois phases préalables et trouve sa finalité dans la Phase 5 : Audit et Amélioration. Ces étapes ont permis de passer d'un constat brut à une structure de gestion de la sécurité des procédés (PSM) de classe mondiale, spécifiquement calibrée pour les risques d'AOA [18]

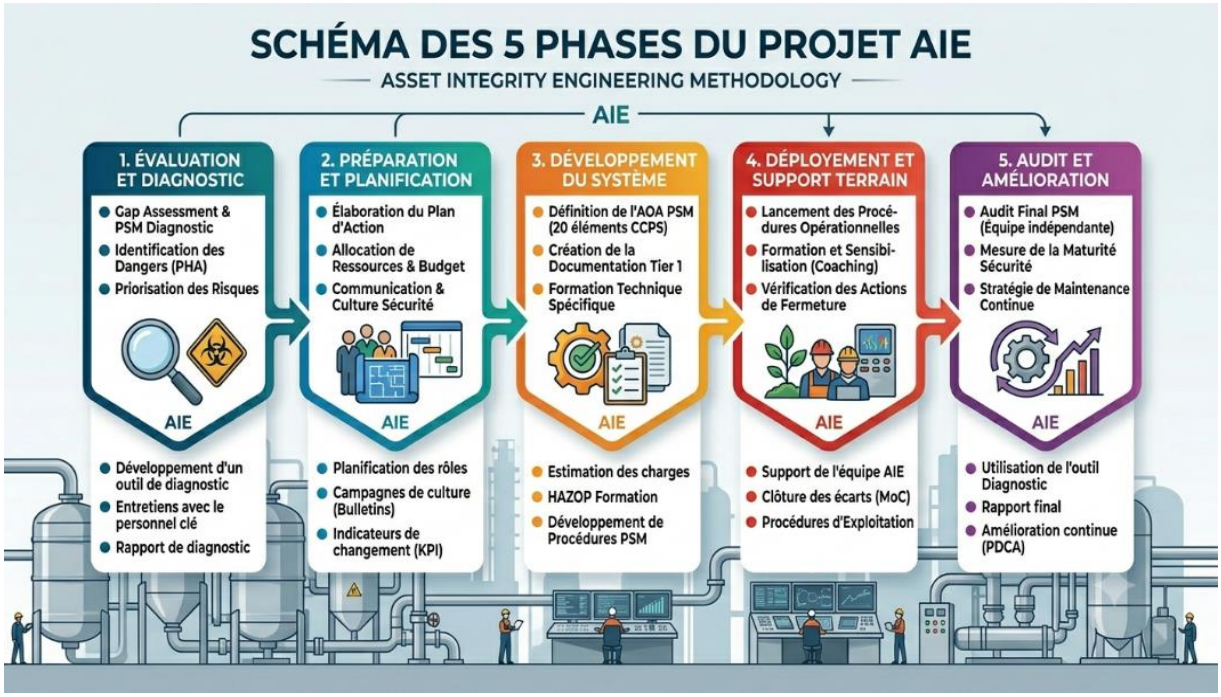


Figure 10 : Schéma opérationnel d'intégration du système PSM basé sur le séquencement des 5 phases clés du projet AIE.

III.2.4.1 Phase 3 : Le développement (L'aboutissement structurel)

Cette phase a marqué la transition vers la concrétisation technique du système. Elle a consisté à concevoir l'architecture globale du système PSM d'AOA, en définissant ses éléments, ses objectifs, ses exigences et, surtout, les interactions complexes entre les différents services

Contenu technique : Le travail s'est focalisé sur la définition des processus de "Tier 1" (les flux de travail les plus critiques pour la sécurité). Cela inclut l'élaboration des procédures de support, de la documentation technique et des indicateurs clés de performance (KPIs) associés.

Planification : AIE a procédé à l'estimation de la charge de travail et des ressources nécessaires, aboutissant à un calendrier de mise en œuvre détaillé

Cette étape a "opérationnalisé" le personnel formé lors de la phase précédente, car sans les compétences acquises en Phase 2, les workflows complexes développés ici resteraient des documents théoriques inapplicables [18]

III.2.4.2 Phase 2 : La préparation (Le socle humain et culturel)

Considérée comme le véritable moteur du changement, cette phase a visé à transformer la culture de sécurité et à transférer les connaissances techniques indispensables au personnel d'AOA

Programme de formation intensif : Des sessions ont été organisées sur des thématiques critiques

- Formations générales : Structure, éléments et mise en œuvre du PSM (3 jours par groupe)
- Expertises spécifiques : Analyse des dangers du procédé (HAZOP), système de gestion de l'intégrité des actifs, investigation des incidents et classification des événements de sécurité
- Certification : Une formation spécifique a été dédiée à la certification des auditeurs internes PSM

Ce plan de formation massif a été le pont direct entre le diagnostic et l'action, chaque module ayant été conçu pour répondre précisément aux lacunes identifiées lors de la Phase 1, transformant ainsi les points de non-conformité en opportunités de montée en compétences. [18]

III.2.4.3 Phase 1 : Le diagnostic (La genèse de la démarche)

Cette phase est l'origine de toute la stratégie de transformation d'AOA. Elle a permis d'établir un état des lieux factuel et rigoureux des pratiques existantes

Méthodologie : AIE a développé un outil de diagnostic sur mesure basé sur les 20 éléments du RBPS (CCPS). L'évaluation a été réalisée par une combinaison de revues documentaires approfondies (desktop reviews) et d'entretiens directs avec le personnel clé de l'usine.

Résultat : Cette étape a abouti à une analyse d'écarts (Gap Assessment) identifiant les priorités d'amélioration.

Ce diagnostic a fourni les données d'entrée vitales pour l'ensemble du projet, car c'est ce rapport qui a dicté quels experts former en Phase 2 et quelles procédures prioritaires rédiger en Phase 3, garantissant ainsi que le système soit parfaitement adapté aux réalités physiques de l'installation [18]

Conclusion

Le complexe AOA représente un cas d'étude d'une grande étendue, témoignant des avancées considérables de l'industrie algérienne dans la production d'engrais azotés. Nous observons que les phases préparatoires (diagnostic, préparation, développement) réalisées par le prestataire AIE ont fourni une base solide pour le déploiement. Il est à noter qu'un système PSM, aussi bien conçu soit-il, ne peut réussir sa mise en œuvre sans une phase de déploiement rigoureuse, qui constituera le cœur du chapitre suivant.

CHAPITRE IV :
Déploiement terrain, actions et facteurs clés de succès

Introduction :

Pour réussir le déploiement d'un système de management du risque industriel, il est impératif de décrire les actions opérationnelles menées sur le terrain et de confronter la documentation prescrite aux données réelles. De plus, une identification rigoureuse des écarts entre le travail prescrit et le travail réel est essentielle pour en déduire des facteurs clés de succès. Ce chapitre s'attache à explorer ces aspects fondamentaux pour présenter la valeur ajoutée de ce travail.

IV.1 DÉPLOIEMENT TERRAIN : ACTIONS ET RÉALISATIONS OPÉRATIONNELLES

Le déploiement, correspondant à la Phase 4 du projet mené par le prestataire AIE, représente l'étape de concrétisation où le système de management de la sécurité des procédés (PSM) est injecté au cœur des unités de production d'ammoniac et d'urée. Cette phase cruciale, prévue pour une durée de 75 jours dans le calendrier global de 462 jours, vise à transformer les standards documentaires en barrières de sécurité actives et vérifiables sur le terrain. [18]

IV.1.1 Ingénierie du déploiement et structure de support

Pour garantir que la transition vers les nouveaux standards PSM s'effectue sans perturbation des opérations, une infrastructure de gestion spécifique est mise en place :

- L'appui constant de l'équipe support AIE : Une équipe d'experts en intégrité des actifs est mobilisée pour accompagner les structures internes d'AOA dans l'application des nouveaux workflows.
- Plans d'amélioration intégrés : Chaque domaine d'amélioration identifié lors du diagnostic initial (Phase 1) fait l'objet d'un plan de projet détaillé et intégré. Cela permet une approche segmentée par zone technique, qu'il s'agisse des unités d'ammoniac (2000 t/j) ou des unités d'urée granulée (3500 t/j).
- Système de reporting de progression : Le déploiement est piloté par un reporting régulier de l'avancement du « roll-out », permettant d'identifier les goulots d'étranglement opérationnels en temps réel. [18]

IV.1.2 Le renforcement des capacités : un pilier de la fiabilité humaine

La réussite du déploiement repose sur l'appropriation du système par l'ensemble du personnel, de la direction jusqu'à l'exécution.

- Coaching exécutif (Executive Level Coaching) : Les cadres dirigeants reçoivent un accompagnement spécifique pour intégrer la gestion des risques et de la sécurité dans le pilotage

stratégique du complexe. L'enjeu est de garantir un leadership visible capable de soutenir les décisions de sécurité face aux pressions de production.

- Formation opérationnelle de masse : Le personnel technique et les opérateurs reçoivent des formations pratiques sur la gestion de la sécurité et des risques. Ces sessions se concentrent sur le déploiement des formations déjà élaborées, telles que l'analyse HAZOP, l'intégrité mécanique et l'investigation des incidents de sécurité des procédés.
- Formation sur les processus modifiés : Une attention particulière est portée à l'entraînement du personnel sur les processus et procédures de Tier 1 récemment modifiés ou créés (Gestion du changement, isolation, gestion des inhibitions), garantissant que chaque employé maîtrise ses nouvelles responsabilités. [18]

IV.1.3 La clôture physique des écarts (« Gap Closure ») et le processus de « Sign-off »

C'est l'action la plus tangible visant à rétablir l'intégrité technique des installations d'AOA.

- Soutien technique à la résolution : AIE apporte un support direct à AOA pour résoudre les anomalies (techniques ou organisationnelles) identifiées lors du diagnostic initial.
- Vérification physique des actions : Le déploiement ne se limite pas à une validation administrative. Chaque action corrective close fait l'objet d'une vérification physique sur les équipements.
- Validation formelle (Sign-off) : Une fois la vérification effectuée, un processus de validation formelle (« sign-off ») est enclenché. Ce document certifie que la barrière de sécurité est de nouveau pleinement fonctionnelle, assurant ainsi que le complexe a retrouvé son niveau d'intégrité nominal avant l'exploitation intensive. [18]

IV.1.4 Pilotage de la performance proactive via les KPIs

Le déploiement permet d'activer les outils de surveillance continue pour garantir la pérennité du système.

- Mise en œuvre des indicateurs de Tier 1 : Le suivi mensuel des indicateurs clés de performance (KPIs) PSM est instauré. Ces indicateurs permettent de mesurer l'efficacité des barrières de sécurité et de détecter les dérives potentielles avant qu'un événement majeur (comme une perte de confinement) ne survienne.
- Tableau de bord de suivi : L'élaboration et la révision de modèles de reporting pour les KPIs assurent une communication transparente de la performance sécurité à tous les niveaux de l'organisme. [18]

IV.1.5 Ancrage de la culture de sécurité des procédés

Le succès final du déploiement est conditionné par un changement de mentalité durable au sein de l'ensemble du personnel du complexe.

- Campagne de culture PSM (Partie 2 sur 2) : Conformément au calendrier de réalisation, une seconde campagne de sensibilisation est délivrée vers la fin de la phase de déploiement pour consolider les acquis. Cette étape est cruciale pour assurer que l'importance du PSM et sa valeur ajoutée sont pleinement intégrées par l'organisation après la mise en place des nouveaux processus.
- Canaux de diffusion diversifiés : Pour garantir un impact maximal, cette campagne s'appuie sur des méthodes de communication variées incluant des newsletters, des sessions « lunch and learn », des présentations dédiées et l'intégration de « moments de sécurité » lors de chaque réunion formelle.
- Objectif de perception des risques : L'enjeu est d'ancrer durablement la perception des risques majeurs inhérents aux unités d'ammoniac et d'urée — tels que la toxicité de l'ammoniac et les dangers liés aux hautes pressions — comme une préoccupation quotidienne et non plus comme une contrainte ponctuelle [18]

IV.1.6 Démarche méthodologique

Pour identifier les facteurs clés de succès du déploiement, une enquête de terrain a été me née lors d'un stage de 30 jours au sein du complexe AOA.

- **Entretiens** : huit entretiens ont été réalisés avec des opérateurs, techniciens supérieurs, supervis eurs et ingénieurs. Chaque entretien a permis de recueillir des témoignages sur les écarts entre le s procédures écrites et les pratiques réelles.

- **Observation directe** : des sessions d'observation ont été menées sur les unités d'ammoniac et d'urée, en situation normale et en arret.

- **Analyse documentaire** : les documents internes (procédures, permis de travail, fiches de format ion, rapports d'inspection) ont été examinés.

- **Critères de sélection des écarts** (ceux retenus dans le tableau IV.2) :
  1. Récurrence : l'écart a été constaté au moins trois fois.
  2. Gravité potentielle : l'écart peut entraîner un accident majeur.
  3. Écart documenté : l'écart a pu être confirmé par un document.

IV.2 Points à améliorer et comparaison documentation/données réelles

Une confrontation systématique a été menée entre la documentation prescrite (procédures, permis, formations) et les données réelles observées sur le terrain lors d'un stage de 30 jours au sein du complexe AOA. Cette démarche s'appuie sur des observations terrain, des entretiens avec les équipes et l'analyse directe des pratiques. Le tableau ci-dessous résume les principaux écarts constatés.

Tableau IV.1 : Synthèse des écarts de conformité opérationnelle et exemples concrets relevés sur le terrain à AOA.

Écart constaté	Exemple concret relevé à AOA
Non-conformité dans l'exécution des permis de travail	Un permis a été établi sans analyse terrain ; superviseur absent pendant les travaux. Un opérateur a déclaré : *« Le permis a été rempli avec des lunettes, mais on n'a pas besoin de lunettes. »* Cases non cochées (masque, accès dangereux, basse température, produit dangereux)
Absence de zonage ATEX dans le permis de travail	Le permis de travail ne comportait pas la case « zone ATEX » cochée, alors que les travaux étaient situés dans une zone ATEX
Manque de communication et de coordination après travaux	Une nacelle est restée stationnée en zone ATEX une fois les travaux terminés, sans que les équipes de maintenance et d'exploitation aient organisé son retrait rapide
Défaut de contrôle et de balisage des fuites	Fuite d'hydrogène critique ; balisage cassé pendant deux jours, absence de vérification périodique. Plusieurs autres fuites non balisées ni signalées

Inefficacité des formations en ligne	Formations à distance suivies par des opérateurs déconcentrés (usage du téléphone). Le chef de comité PSM a signalé : « La formation a été réalisée à 100 %. »
Écart entre prescrit et réel dans l'induction sécurité	L'induction sécurité est théoriquement obligatoire pour tout entrant (salariés, stagiaires, visiteurs). En pratique, son contenu et son déroulement ne sont pas maîtrisés ; elle est assurée par des apprentis sans compétence validée
Procédures inadaptées au terrain	Plusieurs procédures développées en phase amont se sont révélées incompréhensibles pour les opérateurs, nécessitant un accompagnement permanent
Absence de culture PSM chez certains employés	Lors d'entretiens terrain, plusieurs employés n'ont pas su expliquer ce qu'est le PSM ni si un tel système existe au sein d'AOA
Comportements individuels à risque (EPI, équipements)	Un travailleur a laissé son casque dans une nacelle en zone ATEX, justifiant que « le risque est juste dans la nacelle ». Un agent HSE a inspecté un échafaudage sans porter son harnais. Un opérateur se tenait sous un échafaudage non finalisé.
Non-conformités détectées trop tard	Un audit des permis de travail a été réalisé après la fin des travaux ; il a révélé des non-conformités (absence de zonage ATEX, cases non cochées). Ces anomalies n'ont pas pu être corrigées en temps réel, illustrant une approche trop séquentielle

IV.3 FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS DU DÉPLOIEMENT

L'analyse des écarts terrain, ainsi que l'observation des pratiques efficaces rencontrées lors de notre stage, ont montré que le déploiement (Phase 4) au sein d'AOA ne saurait rester un simple exercice documentaire. Pour qu'il devienne une réalité opérationnelle, plusieurs piliers critiques doivent être consolidés. Voici, sur la base de ces retours d'expérience et des standards internationaux, les facteurs déterminants :

IV.3.1 Présence effective sur le terrain

L'un des facteurs de succès majeurs est de rompre avec l'erreur classique consistant à limiter l'accompagnement à un support exclusivement distant. Bien que la stratégie initiale puisse prévoir un pilotage depuis les bureaux avec des interactions par téléconférence, la réussite opérationnelle impose impérativement une immersion physique sur les unités.

1. Dépasser les limites du suivi « Online » et le biais du « Crunching Numbers »

Le travail exclusivement à distance génère une dépendance totale vis-à-vis des chiffres et des informations reçus via des rapports ou des bases de données. Dans cette configuration, la structure de pilotage est dans l'incapacité de vérifier la **véracité et la fiabilité des données** transmises.

- **Le risque du « Crunching Numbers » :** Cette dérive survient lorsque l'organisation se focalise sur l'atteinte d'objectifs purement statistiques (par exemple, afficher 100 % d'écarts clos administrativement) au détriment de la qualité réelle de la sécurité sur le site.
- **L'approche factuelle :** Conformément aux principes de l'ISO 9000, les décisions efficaces doivent se fonder sur l'analyse et l'évaluation de **preuves objectives**. Ces preuves, obtenues par l'observation et la mesure directe, permettent de garantir l'objectivité et la confiance dans les mesures de maîtrise des risques.

2. Analyse de l'écart ergonomique : Travail « Prescrit » vs Travail « Réel »

L'immersion physique est l'unique moyen de briser « l'écran » entre le bureau de conception et l'usine. L'ergonomie met en évidence une distinction fondamentale indispensable à l'analyse de la sécurité :

- **Le Travail Prescrit :** Il constitue la référence théorique formalisée dans les descriptions de postes, les normes, les consignes et les procédures. C'est ce que l'opérateur est censé faire selon le « programme » établi par l'entreprise.
- **Le Travail Réel :** Il correspond à l'activité telle qu'elle est effectivement pratiquée par l'opérateur face aux aléas techniques et aux contraintes physiques (température, bruit,

ergonomie). Travailler n'est pas simplement appliquer un programme, c'est ajuster constamment son activité pour maintenir le système sous contrôle.

- **L'observation directe :** Elle est indispensable pour découvrir le fonctionnement concret de l'entreprise et identifier les **signaux faibles** ou les écarts de sécurité que les rapports écrits ne mentionnent jamais. C'est souvent lors de la gestion des incidents que cette différence entre le prescrit et le réel apparaît le plus clairement.

3. Validation physique du « Sign-off » et résilience opérationnelle

Le processus de validation formelle de la clôture des écarts (Gap Closure) constitue le pivot entre la conformité administrative et la sécurité réelle des installations. Conformément à la norme ISO 9000:2015, la validation ne doit pas être une simple étape bureaucratique, mais la « confirmation, par des preuves objectives, que les exigences pour une utilisation spécifique ou une application prévues ont été satisfaites ».

- **Vérification technique par « contrôle ambulant » :** L'intégrité et la fiabilité des barrières critiques, telles que les vannes d'arrêt d'urgence (ESDV) ou les systèmes de détection de gaz, ne peuvent être certifiées par écran interposé. Le succès du déploiement repose sur un « contrôle ambulant » systématique sur site, incluant l'utilisation de listes de contrôle et l'examen direct de la documentation de réalisation. Ce constat physique est l'unique moyen de détecter des signaux faibles (anomalies de montage, suintements, ou fragilités mécaniques) avant que les substances dangereuses ne soient introduites dans le procédé.
- **De l'intention de sécurité à la résilience ALARP :** En exigeant une clôture physique rigoureuse, l'organisation garantit que le risque résiduel est effectivement maintenu au niveau le plus bas raisonnablement possible (ALARP). Cette exigence de preuves tangibles garantit que les standards de performance définis pour chaque barrière sont opérationnels et capables de résister aux événements accidentels. Ce passage d'une sécurité prescrite à une réalité physique transforme le système de management en une résilience opérationnelle tangible, capable d'absorber les perturbations et de prévenir les accidents majeurs

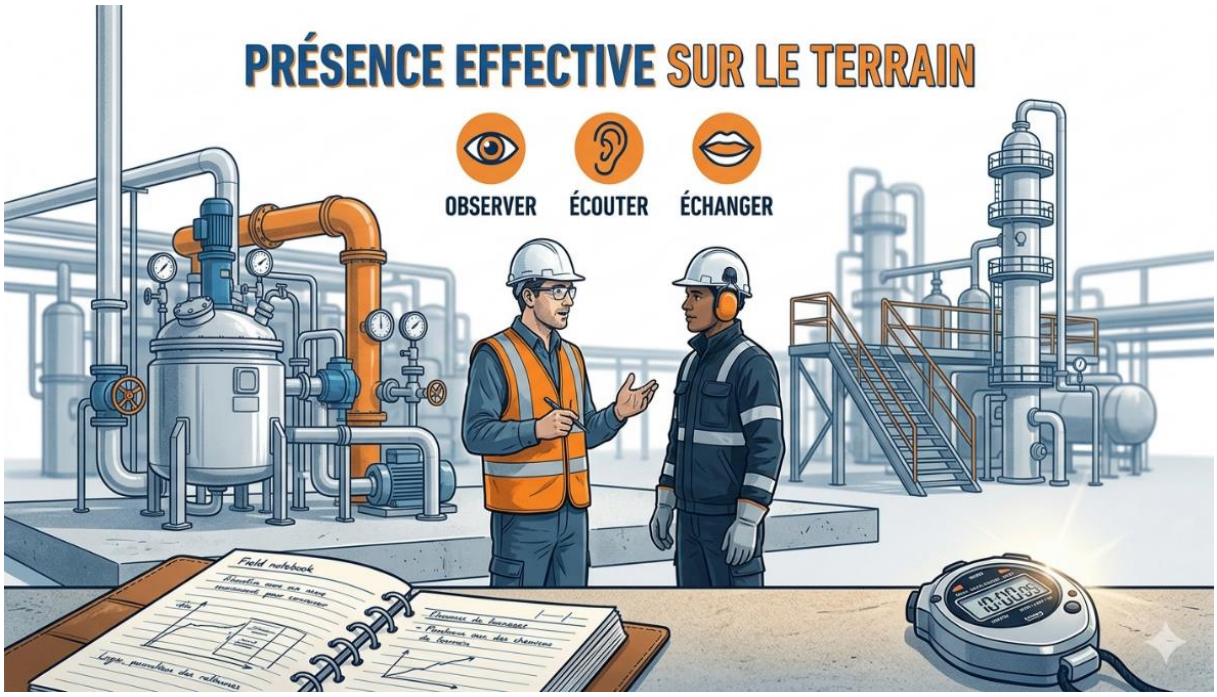


Figure 11 : La présence effective sur le terrain comme pilier de la résilience opérationnelle et de la détection des signaux faibles.

IV.3.2 Alignement du Leadership et « Languagement » La Cohérence de la Chaîne de Commandement

La réussite du déploiement du PSM au sein du complexe AOA ne dépend pas uniquement de la rigueur technique, mais de la solidité d'une structure de leadership unifiée. Cet alignement vertical, souvent décrit sous le terme de « languagement », garantit que les priorités stratégiques de la haute direction se traduisent sans distorsion en comportements opérationnels sur le terrain.

1. L'engagement du Top Management (PDG) : L'Ancrage de la Vision

La direction générale occupe le sommet de la pyramide et a pour mission d'orienter l'organisme au plus haut niveau.

- Définition de la Finalité : Le PDG doit établir la politique de sécurité des procédés comme une orientation stratégique vitale, intégrée aux valeurs fondamentales de l'entreprise.
- Leadership Visible : Pour que le système soit crédible, le top management doit être un « modèle » (role model). Cela implique de mener personnellement des initiatives, de poser des questions critiques sur les risques majeurs et d'être physiquement présent sur les sites de production.

- Allocation des Ressources : La direction a le pouvoir souverain de déléguer son autorité et de fournir les ressources humaines et financières indispensables au maintien de l'intégrité technique.

2. Le rôle du Directeur d'Usine : Garant de l'Intégrité sur le Site

Le directeur d'usine est le pivot entre la stratégie globale et l'exécution locale. Son rôle est de transformer la vision du PDG en une réalité physique incontestable.

- L'Exemple par l'Action : Le leadership sur site doit « prêcher par l'exemple ». Si la direction loue un opérateur pour avoir évité l'arrêt d'un procédé en situation d'urgence au détriment des procédures, elle détruit instantanément la discipline opérationnelle.
- Refus du Compromis : Il doit s'assurer que les objectifs de sécurité des procédés ne sont jamais sacrifiés sur l'autel de la production immédiate. Sa responsabilité est de maintenir l'enveloppe opérationnelle sûre, même sous la pression des délais de livraison.
- Redevabilité : Il doit tenir chaque travailleur responsable de ses actions en toutes circonstances pour éviter la « normalisation de la déviance ».

3. Implication du Middle Management et « Languagement »

Le middle management (chefs de service, chefs de bloc, superviseurs) constitue le maillon où le système est le plus vulnérable aux désalignements.

- **Un Langage Commun :** Le « languagement » est l'application d'un langage technique et culturel commun à tous les échelons. Si les managers de proximité n'utilisent pas les mêmes termes ou ne valorisent pas les mêmes indicateurs que le PDG, le personnel perçoit un message contradictoire.
- **Participation et Contrôle :** Les managers et superviseurs doivent non seulement participer à l'élaboration des règles, mais aussi contrôler régulièrement sur le terrain si les mesures de prévention sont correctement appliquées. Ils doivent arbitrer entre le « travail prescrit » (les procédures) et le « travail réel » (les contraintes physiques des unités) pour s'assurer que la sécurité reste la priorité.
- **Conséquence du Désalignement :** Toute faille dans cette communication verticale érode la discipline opérationnelle. Le personnel de terrain cesse de suivre fidèlement les tâches si les managers directs manifestent une indifférence ou une méconnaissance des standards PSM

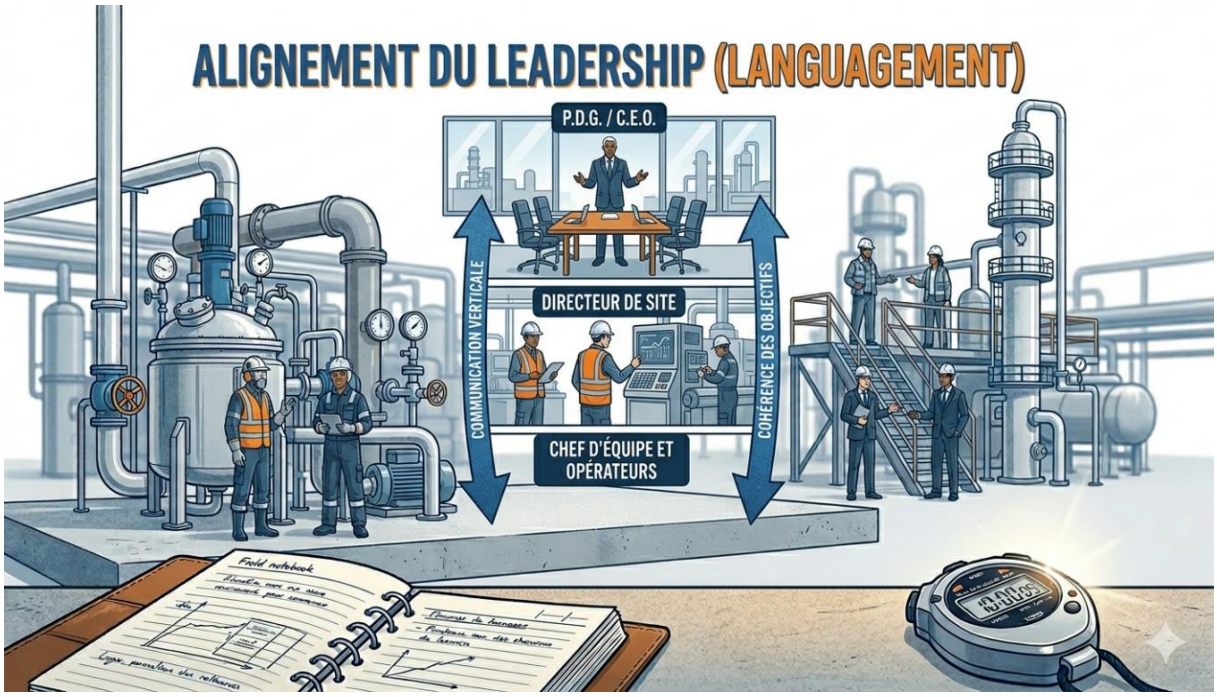


Figure 12 : Cadre opérationnel de l'alignement du leadership (Languagement) pour assurer la cohérence du management de la sécurité.

IV.3.3 Développement et Déploiement simultanés

Plutôt que d'adopter une approche séquentielle classique et rigide (finir toute la documentation avant de commencer le terrain), le projet au sein du complexe AOA gagne en efficacité en fusionnant le développement des standards (Phase 3) et leur déploiement opérationnel (Phase 4). Cette stratégie agile transforme le déploiement en un processus itératif d'ajustement en temps réel.

1. Correction dynamique et immédiate des écarts (Gap Closure)

Dans un modèle séquentiel, une organisation risque de produire des procédures « parfaites » sur le papier mais totalement inapplicables face aux réalités physiques des unités d'ammoniac ou d'urée.

- **Confrontation du prescrit et du réel :** Le déploiement simultané permet de confronter immédiatement le « travail prescrit » (les standards en cours de rédaction) au « travail réel » (l'activité ajustée par l'opérateur face aux contraintes du procédé)
- **Boucle de rétroaction courte :** En étant sur le terrain durant le développement, on identifie les failles des procédures en temps réel. Si un écart technique ou organisationnel est détecté lors de la mise en œuvre d'un workflow de Tier 1 (ex: Management du Changement), il est fixé immédiatement dans la documentation de développement. Sans cette approche, ces erreurs resteraient « dormantes » et ne seraient découvertes qu'à la Phase 5 (Audit), ce qui obligerait l'entreprise à recommencer des étapes déjà validées administrativement.

2. Optimisation de l'engagement et gestion du temps de travail

Le personnel étant une « ressource essentielle » dont les performances dépendent de son comportement au sein du système, la gestion de son temps durant le projet est un facteur critique de succès :

- **Combler les « temps morts » :** Le déploiement simultané permet de combler le vide dans le temps de travail des employés. Au lieu d'attendre passivement la livraison de documents finaux, les travailleurs sont mobilisés activement dans l'application et le test des outils. Cela évite la dispersion de l'énergie et la perte de focus sur les objectifs de sécurité.
- **Renforcement de la concentration :** En impliquant directement les opérateurs et le personnel technique dans ce processus hybride, on s'assure qu'ils se concentrent davantage sur le projet. Ils voient l'utilité immédiate des standards sur leurs propres installations, ce qui facilite l'appropriation du système et réduit la résistance au changement

3. Prévention des échecs lors de l'audit final

L'audit doit être une évaluation de l'efficacité et non le moment de découvrir des défauts systémiques majeurs.

- **Éviter l'accumulation de non-conformités :** En traitant les écarts durant le déploiement, on garantit que le système arrive à la phase finale d'audit déjà éprouvé, mature et stable
- **Réduction des risques de retard :** Dépendre uniquement de l'audit final pour identifier les failles d'applicabilité peut mener à un volume de recommandations impossible à traiter dans les délais impartis, remettant en cause la certification et la sécurité réelle du site

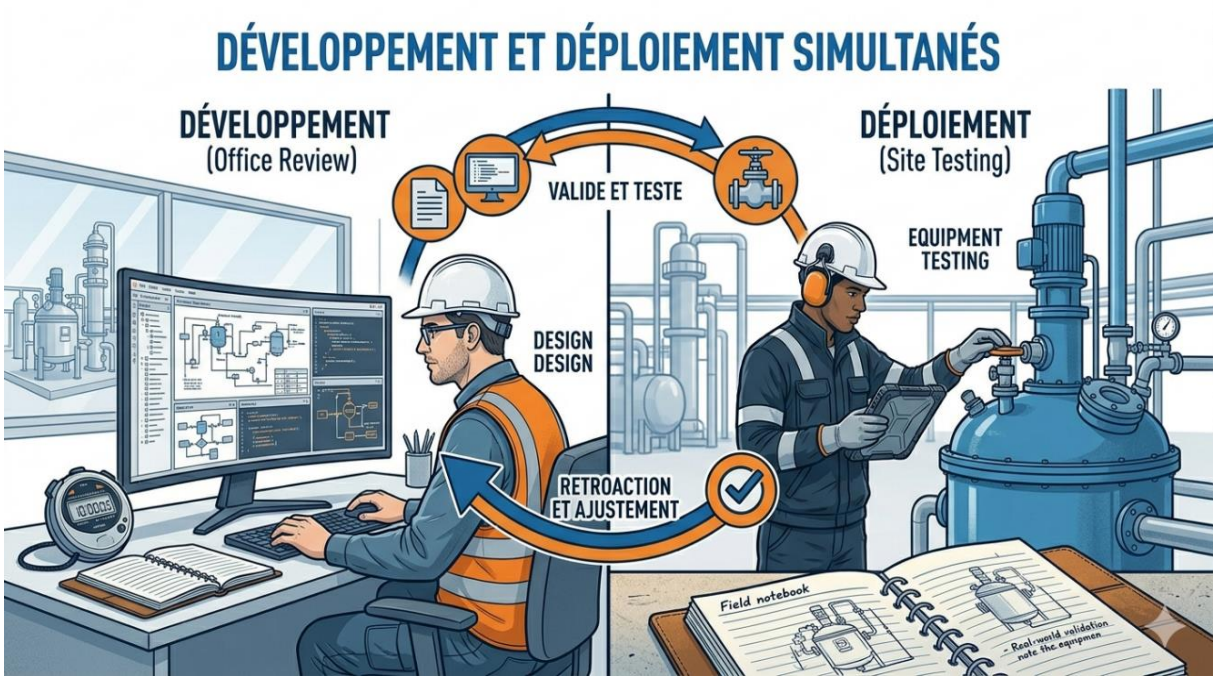


Figure 13 : Cadre opérationnel du processus de développement et déploiement simultanés pour la gestion des écarts.

IV.3.4 Rappel des événements passés : cultiver le sentiment de vulnérabilité

Un système PSM (Management de la Sécurité des Procédés) robuste ne peut se contenter d'une conformité technique passive ; il doit cultiver un sentiment de vulnérabilité permanent au sein de l'organisation. Ce sentiment est le rempart le plus efficace contre l'excès de confiance et la complaisance, souvent stimulés par une période prolongée sans incident.

1. Rappel des accidents et incidents : la mémoire comme barrière de sécurité

Il est crucial d'utiliser l'histoire de l'industrie pour donner un sens concret aux procédures quotidiennes. Les briefings et "moments de sécurité" doivent régulièrement intégrer :

- **Les catastrophes internationales emblématiques** : Des exemples comme Bhopal (1984, fuite de gaz toxique) soulignent comment la défaillance de l'entretien et des plans d'urgence peut mener à des milliers de décès. L'explosion de Flixborough (1974) sert, quant à elle, de rappel brutal sur la nécessité vitale d'un processus de Gestion du Changement (MOC) rigoureux, après qu'une modification temporaire non étudiée a provoqué une rupture catastrophique.
- **L'histoire locale et nationale :** Pour le personnel du complexe AOA, le rappel de l'explosion au complexe de Skikda (2004) est fondamental pour démontrer que le risque majeur n'est pas une abstraction théorique, mais une réalité physique ayant déjà touché l'industrie algérienne.

2. Analyse des causes profondes : le "Pourquoi" des barrières actuelles

L'objectif n'est pas seulement de raconter l'accident, mais d'expliquer comment l'absence ou le shunt de barrières spécifiques a conduit au désastre :

- **Justification des procédures d'isolation et de MOC :** En montrant qu'à Flixborough, les responsables n'avaient pas l'intention de mal agir mais qu'ils "ne savaient pas qu'ils ne savaient pas", on renforce l'adhésion aux workflows de Tier 1. Les travailleurs comprennent alors que le MOC n'est pas une surcharge administrative, mais un outil d'identification des dangers avant qu'une modification ne soit mise en pratique.
- **Information sur les risques environnants :** Ce rappel permet d'informer continuellement les travailleurs sur les dangers spécifiques qui les entourent, tels que la toxicité de l'ammoniac et les hautes pressions de l'urée. La conscience permanente du risque (nuage toxique, explosion, jet fire) justifie l'exigence de maintenir des barrières de prévention et d'atténuation opérationnelles à 100 %.

3. L'importance du déploiement du système de management

Le rappel des événements passés démontre qu'un accident est souvent le reflet d'une inaptitude temporaire à faire face à la complexité des installations.

- **Passer de la gestion réactive à la résilience proactive :** Le déploiement du système PSM chez AOA vise à transformer ces leçons apprises en une discipline opérationnelle.
- **Validation des barrières :** Sans un système de management structuré, les barrières peuvent se détériorer sans que cela soit remarqué. Le déploiement garantit que chaque employé reconnaît sa propre vulnérabilité et celle de son installation, transformant ainsi chaque procédure en un acte délibéré de protection de l'intégrité humaine et économique.

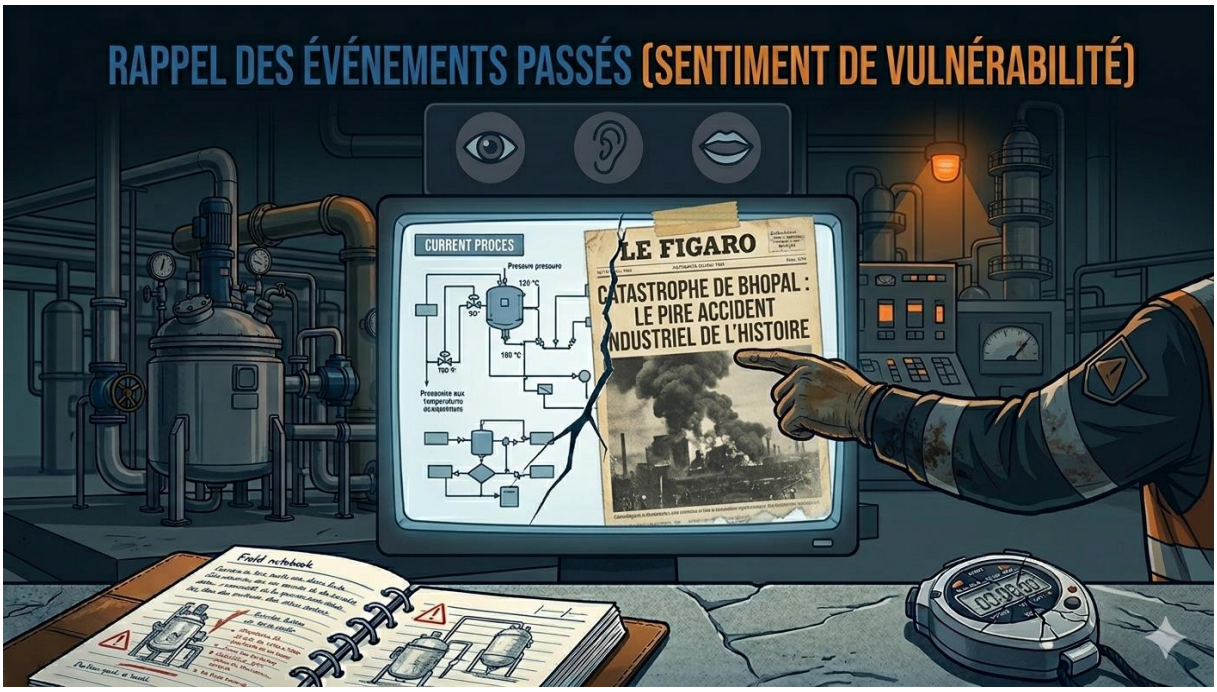


Figure 14 : Perspective du processus de rappel des événements passés pour cultiver le sentiment de vulnérabilité.

IV.3.5 Management Visuel et Signalisation Renforcée : Faire du terrain un acteur de la sécurité

Pour garantir que les barrières de sécurité ne restent pas purement théoriques, le déploiement chez AOA doit transformer l'environnement physique en un système auto-explicatif. Le management visuel vise à ce que le terrain « parle » directement aux travailleurs afin de minimiser la probabilité d'erreur humaine et d'assurer une discipline opérationnelle constante

1. Multiplication et standardisation des signaux de sécurité

Le déploiement inclut une pose massive de dispositifs visuels conformes aux standards internationaux (SGH) pour identifier les dangers là où ils se trouvent.

- **Pictogrammes de danger physique et santé :** Les unités doivent être équipées de panneaux d'avertissement spécifiques aux risques majeurs d'AOA, notamment pour les matières toxiques (ammoniac), les matières corrosives (urée/acides) et les matières explosives ou inflammables.
- **Identification des réseaux et équipements** : Conformément aux bonnes pratiques, les tuyauteries et capacités doivent être identifiées par des codes couleurs spécifiques (ex: vert pour l'ammoniac) et un marquage clair du sens de circulation des fluides. Cette identification est une barrière contre les erreurs de manœuvre lors des isolations.
- **Signalisation des risques mécaniques et de zone :** Le déploiement prévoit l'installation de panneaux pour prévenir les risques de trébuchements, les chutes avec dénivellation et les zones de circulation de véhicules de manutention.

2. Marquages au sol et gestion des flux

L'organisation de l'espace de travail est un levier de prévention des collisions et des accidents de circulation interne.

- **Voies de circulation dédiées** : Le traçage de voies distinctes pour les piétons et les engins de manutention permet de limiter les risques de collision.
- **Balisage des zones à risques :** Les zones à accès réglementé ou présentant des dangers spécifiques (ATEX, haute pression) doivent être délimitées physiquement et visuellement par un marquage au sol antidérapant et des barrières.

3. Accessibilité immédiate de l'information critique

L'information doit être disponible là où l'action se déroule pour faciliter une réaction rapide en cas d'anomalie.

- **Affichage des consignes et numéros d'urgence :** Chaque atelier ou unité doit disposer d'un affichage visible de la liste des numéros d'appel d'urgence et des instructions d'utilisation succinctes pour les équipements critiques.
- **Plans d'évacuation et zones de rassemblement :** Les plans d'évacuation doivent être affichés directement sur les lieux de travail, indiquant clairement les voies de secours vers les zones de rassemblement en fonction de la direction du vent (essentiel pour le risque ammoniac).
- **Gestion des défauts :** Le matériel défectueux doit être immédiatement identifié par une étiquette spécifique pour éviter son utilisation accidentelle avant son élimination ou sa réparation.

4. Finalité : Une barrière de prévention passive

Cette approche transforme la signalisation en une barrière de prévention passive. En rendant le risque visible, l'organisation cultive la conscience permanente du danger chez l'opérateur. Le management visuel assure que, même sous pression, le personnel peut identifier instantanément la conduite à tenir, les protections individuelles (EPI) obligatoires et les issues de secours, renforçant ainsi la résilience globale du complexe AOA



Figure 15 : Perspective du processus de management visuel pour la gestion des signaux de sécurité et le renforcement de la vigilance sur site.

IV.3.6 Formation Périodique et Sensibilisation Continue :

Maintenir la Fiabilité Humaine

La compétence au sein d'un complexe industriel comme AOA n'est pas un acquis définitif, mais un processus dynamique qui doit être entretenu pour garantir l'efficacité du système de management de la sécurité des procédés (PSM). Le déploiement s'appuie sur une boucle continue d'apprentissage et de rappel pour transformer les connaissances théoriques en barrières de sécurité vivantes.

1. Cycles de formation et recyclage technique (Refresher Training)

L'organisation doit offrir au personnel des opportunités régulières de développer et de maintenir les compétences nécessaires à l'exercice de leurs responsabilités.

- **Maintien du niveau technique :** Le contenu des programmes de formation initiale et de perfectionnement pour les opérateurs et superviseurs doit être comparé périodiquement aux manuels technologiques et mis à jour en fonction des évolutions du procédé. Pour les domaines critiques comme les études HAZOP ou les systèmes instrumentés de sécurité (SIS),

des recyclages périodiques sont indispensables pour garantir que les méthodes d'analyse systématique des risques restent rigoureuses.

- **Fréquence et mise à jour :** Les sources suggèrent que la formation ne doit pas être un événement unique ; par exemple, dans certains domaines opérationnels, un recyclage annuel ou tous les six mois est préconisé pour maintenir les réflexes de sécurité. Cela inclut l'entraînement sur les procédures de Tier 1 modifiées, telles que la gestion du changement (MOC) ou les plans d'urgence.
- **Vérification de la performance :** La formation ne s'arrête pas à la salle de classe ; elle doit inclure des instructions pratiques et une vérification sur le terrain pour s'assurer que les compétences enseignées sont appliquées avec discipline.

2. Sensibilisation (Sensitisation) : De la connaissance au réflexe opérationnel

La sensibilisation est définie comme la phase transitoire entre la compétence technique et la réalisation concrète de l'activité. Elle est considérée comme acquise lorsque le personnel comprend non seulement ses responsabilités, mais aussi la manière dont ses actions quotidiennes contribuent à la sécurité globale de l'usine.

- **Culture de la vulnérabilité :** Un objectif clé du déploiement est de maintenir un « sentiment de vulnérabilité » face aux dangers des procédés. Cela passe par la distribution de bulletins de sécurité (comme le *CCPS Beacon*) et le rappel systématique des conséquences d'une perte de contrôle.
- **Les « Moments de Sécurité » (Safety Moments)** : L'intégration de moments de sécurité lors de chaque réunion formelle permet d'ancrer la perception du risque comme une préoccupation de chaque instant. Ces échanges permettent de discuter des signaux faibles, des non-conformités mineures ou des retours d'expérience (REX) pour éviter la normalisation de la déviance.
- **Communication transparente :** Pour que la théorie devienne un réflexe, l'entreprise doit établir des canaux de communication ouverts (newsletters, affiches, sessions « lunch and learn ») diffusant les meilleures pratiques et les leçons tirées des incidents passés.

3. Méthodes et supports diversifiés

Le succès de cette approche repose sur la variété des méthodes pédagogiques employées durant le déploiement :

- **Ateliers pratiques :** Utilisation de jeux de rôles et de simulations de situations d'urgence pour tester l'efficacité des plans d'action et la réactivité du personnel sous pression.

- **Management visuel :** Utilisation massive d'affiches, de vidéos et de dépliants sur les lieux de travail pour rappeler les dangers potentiels (toxicité de l'ammoniac, hautes pressions) et les précautions à prendre.
- **Consultation et participation :** Impliquer les travailleurs dans l'identification des situations dangereuses renforce leur adhésion au système et transforme la sécurité d'une contrainte imposée en une valeur partagée.

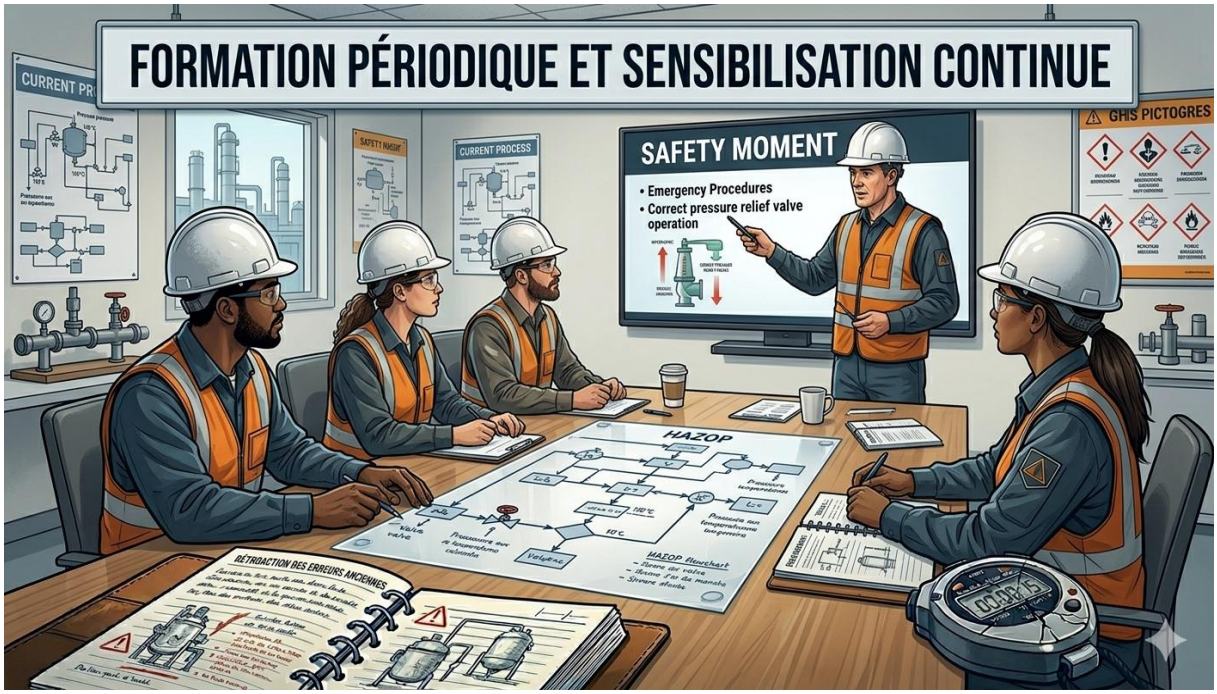


Figure 16 : Approche du processus de formation périodique et sensibilisation continue pour le maintien de la fiabilité humaine.

IV.3.7 Surveillance et Inspection des Défauts : un levier de progrès continu

Dans le cadre du déploiement chez AOA, le contrôle technique et la surveillance opérationnelle ne doivent pas être perçus comme une contrainte ou une sanction, mais comme un levier fondamental de résilience. Cette approche transforme la détection des anomalies en une opportunité d'apprentissage permanent pour l'organisation.

1. Inspection systématique et détection préventive

Pour garantir l'intégrité des actifs, le déploiement instaure une rigueur d'inspection visant à identifier les défaillances avant qu'elles ne se manifestent par un accident majeur.

- L'Intégrité des Actifs Critiques : La priorité est donnée aux équipements dont la défaillance pourrait entraîner une perte de confinement (LOPC) de substances dangereuses (ammoniac, urée). Cela inclut les vannes d'arrêt d'urgence (ESDV), les systèmes instrumentés de sécurité (SIS), les soupapes et les réseaux sous pression.

- **Surveillance d'état (Condition Monitoring) :** Plutôt que d'attendre la panne, l'organisation utilise des indicateurs de détérioration. Par exemple, le contrôle des niveaux de bruit des roulements ou l'utilisation de la thermographie infrarouge pour détecter des points chauds sur les équipements signale une surchauffe imminente.
- **Détection des « Signaux Faibles » :** L'inspection systématique vise à repérer des anomalies mineures telles que des suintements au niveau des joints, des débuts de corrosion ou des vibrations anormales. Le suivi de ces défaillances en service constitue un indicateur précoce de problèmes potentiels plus graves.
- **Réactivité Immédiate :** Un facteur de succès déterminant est le traitement sans délai des défauts. Tout matériel identifié comme non conforme ou dont la date de vérification périodique est dépassée doit être immédiatement mis à l'arrêt et remplacé par un équipement certifié conforme.

2. L'apprentissage par l'écart : vers une culture de haute fiabilité

Le déploiement transforme les résultats de l'inspection en données exploitables pour l'amélioration du système.

- **Une culture de l'apprentissage vs Blâme :** Pour que le système soit efficace, le personnel doit se sentir libre de rapporter les anomalies. Dans une culture d'apprentissage, les erreurs et les défaillances techniques sont traitées comme des opportunités d'amélioration et non comme des motifs de critique.
- **Prise de décision fondée sur les preuves :** Le pilotage du déploiement s'appuie sur l'analyse factuelle des données d'inspection. Les décisions de maintenance ou de modification des procédures sont prises sur la base de faits concrets et de mesures techniques plutôt que sur de simples intuitions.

3. Alimentation dynamique du cycle PDCA (Roue de Deming)

Chaque défaut inspecté devient un point d'entrée pour perfectionner le système de management de la sécurité des procédés.

- **Planifier et Agir (Plan & Act) :** Les écarts identifiés lors des inspections terrain permettent de réajuster les plans d'action. Si une procédure de Tier 1 s'avère difficilement applicable ou si un équipement présente une usure prématurée, l'organisation doit retravailler les procédures ou modifier les fréquences de maintenance.
- **Action corrective et préventive :** L'objectif est de s'approcher de la "perfection opérationnelle" de manière itérative. Les constatations issues de la surveillance mènent

systématiquement à des actions correctives pour restaurer la conformité et à des actions préventives pour éviter la récurrence du défaut.

- **Vers l'objectif ALARP :** En suivant rigoureusement la clôture physique des écarts, le complexe AOA garantit que le risque résiduel est maintenu au niveau le plus bas raisonnablement possible (ALARP), transformant ainsi une simple liste de défauts en un moteur de résilience industrielle



Figure 17 : Approche pratique de la surveillance et l'inspection des défauts pour garantir l'intégrité des actifs et l'amélioration continue.

Conclusion

Le déploiement terrain représente une phase d'une grande étendue, témoignant des avancées considérables que peut réaliser une organisation lorsqu'elle confronte sa documentation aux réalités du terrain. Nous observons que les écarts identifiés (permis de travail, formations online, induction, méconnaissance du PSM) sont autant de freins à surmonter pour garantir l'efficacité du système. Il est à noter que les sept facteurs clés de succès identifiés (présence terrain, leadership, agilité, mémoire organisationnelle, management visuel, formation continue, inspection des défauts) constituent la principale contribution de ce travail. Ces facteurs, bien qu'identifiés sur le cas d'AOA, peuvent être projetés sur d'autres systèmes de management du risque industriel. La conclusion générale synthétisera l'ensemble des résultats et ouvrira des perspectives pour l'amélioration continue.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au fil de ce mémoire, nous avons navigué à travers les exigences complexes du déploiement d'un système de management du risque industriel, un sujet d'une importance capitale pour la protection des personnes, des biens et de l'environnement dans les industries à haut risque. À chaque chapitre, nous avons dévoilé les rouages de cette problématique, mais aussi les leviers d'action qui permettent de transformer un système théorique en barrières de sécurité opérationnelles.

Dans un monde industriel en perpétuelle évolution, le management du risque émerge comme un pilier incontournable de la durabilité des installations à haut risque. Le **premier chapitre** nous a plongés dans un univers où les systèmes de management et les normes génériques (ISO 9001, 14001, 45001) offrent un socle structurant, mais montrent leurs limites face aux risques d'accidents majeurs. Nous avons observé que la simple conformité documentaire ne suffit pas à garantir la prévention des catastrophes industrielles.

Pourtant, au cœur de cette réflexion, le **deuxième chapitre** nous rappelle l'importance de la sécurité des procédés (PSM) comme réponse spécifique à ces risques. À travers l'analyse des phénomènes dangereux (incendie, explosion, dispersion toxique) et des référentiels internationaux (CCPS, OSHA), nous avons compris que la maîtrise des risques majeurs exige des outils techniques et managériaux dédiés, bien au-delà des exigences des normes génériques.

Pourtant, malgré ces avancées conceptuelles, les **chapitres trois et quatre** nous ramènent à la réalité d'un complexe industriel comme AOA, confronté à des défis opérationnels majeurs. Les phases préparatoires (diagnostic, préparation, développement) ont fourni une base solide, mais c'est la phase de déploiement terrain qui constitue le véritable chaînon manquant entre la théorie et la pratique. L'absence d'immersion physique, le biais du « crunching numbers », la validation administrative sans vérification terrain, et la méconnaissance du PSM par certains employés sont autant de freins qui peuvent compromettre l'efficacité du système.

Les conclusions de cette étude confirment notre hypothèse antérieure. Le succès du déploiement ne dépend pas uniquement de la qualité des documents produits, mais de la capacité de l'organisation à transformer ces standards en réflexes quotidiens. **Les sept facteurs clés de succès identifiés** (présence terrain, leadership aligné, agilité du déploiement, mémoire organisationnelle, management visuel, formation continue et inspection des défauts) constituent la principale

contribution de ce travail. Il est à noter que ces facteurs, bien qu'identifiés sur le cas d'AOA, peuvent être projetés sur d'autres systèmes de management du risque industriel.

Perspectives

Ce travail sur le déploiement du système PSM au sein du complexe AOA ne constitue pas une finalité, mais s'inscrit dans une boucle d'amélioration continue où l'enjeu futur sera de mesurer si l'organisation est passée d'une simple conformité documentaire à une véritable résilience opérationnelle. Il s'agira d'évaluer, après la phase d'audit final, si la clôture physique des écarts a permis de réduire concrètement la fréquence des signaux faibles et de renforcer l'intégrité technique des installations sur le long terme.

La généralisation des sept facteurs clés de succès identifiés dans cette étude sur d'autres sites industriels à haut risque, tels que les raffineries ou les complexes pétrochimiques du pôle d'Arzew, permettrait de valider la robustesse de ce modèle tout en favorisant une culture de sécurité partagée à l'échelle nationale. Parallèlement, un approfondissement de l'analyse des facteurs humains et organisationnels est indispensable pour soutenir la fiabilité humaine sous pression et aider les opérateurs à maintenir un sens permanent de la vulnérabilité face à la complexité des procédés.

Pour réduire durablement l'écart entre le travail prescrit et le travail réel, le développement d'outils numériques d'aide au contrôle ambulant, comme des applications mobiles de check-lists interactives, permettrait une remontée d'information plus agile fondée sur des preuves factuelles en temps réel. Enfin, l'intégration de l'intelligence artificielle et des capteurs connectés ouvre la voie à un management prédictif capable de détecter les dérives de paramètres critiques avant qu'elles ne conduisent à une perte de confinement primaire, transformant ainsi la sécurité des procédés en un levier d'excellence et une source de performance durable pour l'industrie.

Ensemble, ces perspectives offrent un cadre solide pour un déploiement plus efficace, plus résilient et plus durable des systèmes de management du risque industriel. Elles représentent les premiers pas vers un avenir où la sécurité des procédés ne sera plus une contrainte administrative, mais une culture partagée et une source de performance durable pour les industries à haut risque.

BIBLIOGRAPHIE

[1] *Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire*, 2015.

[2] Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for Risk Based Process Safety*, 1re éd. Wiley, 2007. doi: 10.1002/9780470925119.

[3] N. HADJ MAHMOUD, « Mise en place d'un système management intégré (QSE) », INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE SOUSSE, 2024.

[4] E. CHAOUACHI, « L'amélioration continue ». 2021.

[5] N. AOUED, « Système Management de la Sécurité des Procédés (PSM) au niveau du champ Tigentourine », Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie, 2023.

[6] *Systèmes de management environnemental – Exigences et lignes directrices pour son utilisation*, ISO 14001:2015, 2015.

[7] *Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail – Exigences et lignes directrices pour son utilisation*, ISO 45001:2018, 2018.

[8] N. Margossian, *Risques et accidents industriels majeurs. Caractéristiques, réglementation, prévention.* Paris, France: Dunod, 2008.

[9] C. FOUSSARD, « Sécurité Industrielle – Ingénierie sécurité : évaluation & réduction / mitigation du risque ». Institut Français du Pétrole – formation, France, juillet 2015.

[10] R. Benabbou, « Management des Risques Industriels ». ENSEM (École Nationale Supérieure d'Électricité et de Mécanique), 2020.

[11] *Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals*, 29 CFR 1910.119, 2011. [En ligne]. Disponible sur: https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.119

[12] NEBOSH (National Examination Board in Occupational Safety and Health), *Process Safety Management: A course book for the NEBOSH HSE Certificate in Process Safety Management*, NEBOSH.

[13] Université de Maroua. Faculté des Mines et des Industries Pétrolières. Département de Génie Mécanique et Électrique, « LME 604 : Techniques de gestion sécuritaire sur site ».

[14] « Loi n° 19-13 du 11 décembre 2019 régissant les activités d'hydrocarbures ». Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire, 2019.

[15] « Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement ». Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire, 2007.

[16] « Décret exécutif n° 21-319 du 5 Moharram 1443 correspondant au 14 août 2021 relatif au régime d'autorisation d'exploitation spécifique aux installations et ouvrages des activités d'hydrocarbures ainsi que les modalités d'approbation des études de risques relatives aux activités de recherche et leur contenu ». Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire, 2021.

[17] Complexe AOA (Arzew), « Rapport de stage – AOA (El Sharika El Djazairia El Omania Lil Asmida) », 2026.

[18] Asset Integrity Engineering (AIE), « Implementation of the Management System of Process Safety (PSM) – Kick-off Meeting ». AOA.