

Le facteur humain et la sûreté de fonctionnement dans le management intégré

Khadidja Guenachi ¹, Karim Bouamrane ² & Mustapha Khaldi ³

¹ University of Oran, Laboratory Sciences Risk Industrial Technology and Environment.

² University of Oran, Laboratoire d'Informatique d'Oran LIO.

³ Sonatrach aval Oran.

Révisé le 02/11/2011

Accepté le 30/01/2012

ملخص

لفترة طويلة بالنسبة لمعظم المنظمات، استند أساسا السلامة التشغيلية على أداء النظم التقنية. وكان الهدف من البحث عن الراحة، وضمانا لاستمرارية الخدمة والصيانة، وتكلفة الجودة للمنتج أو بيانات النظام. هذا يحسن الزوجان "أداء التكلفة"، من خلال تحديد وتقييم والسيطرة على خطأ من المرجح أن تعاني. أو أنها قد تسبب أخطار تؤدي إلى عدم وجود خدمة (مشكلة مصداقية)، مما أدى إلى خسائر في الإنتاج (مشكلة توافر و / أو الصيانة) أو يسبب الحوادث مع أو من دون خسائر في الأرواح والأضرار البيئة (مسألة السلامة). اليوم، وتطوير التكنولوجيا لم يعد يفصل عن الحاجة لبيئة آمنة. مساهمتنا تركز على دور العنصر البشري في الإدارة المتكاملة للمخاطر من ناحية، والدور الذي قد يضطر إلى القيام به من أجل تأمين هذه العملية من ناحية أخرى. دور يتضح من خلال تحليل المخاطر في مجمع للغاز الطبيعي المسال في المنطقة الصناعية بلوزو في الجزائر

الكلمات المفتاحية: المخاطر - أمن العمل - العامل البشري - التنمية المستدامة.

Résumé

Pendant longtemps, pour la plupart des organisations, la sûreté de fonctionnement (SdF) reposait essentiellement sur les performances des systèmes techniques. Elle avait pour objectif la recherche d'un meilleur confort, d'une garantie de continuité de service et de maintien, à moindre coût de la qualité d'un produit ou d'un système donné. Elle permettait d'optimiser le couple « performance-coût », en identifiant, évaluant et maîtrisant les pannes qu'il est susceptible de subir. Or celles-ci, peuvent engendrer des risques conduisant à l'absence du service (problème de fiabilité), entraîner des pertes de production (problème de disponibilité et/ou de maintenabilité) ou provoquer des accidents avec ou non des pertes humaines et des atteintes à l'environnement (problème de sécurité). Aujourd'hui, le développement technologique n'est plus dissocié de la nécessité du contexte sécurisé. Notre contribution porte sur le rôle fondamental du facteur humain dans le management intégré des risques d'une part et du rôle déterminant qu'il peut avoir à jouer pour que la sûreté de fonctionnement réponde à sa propriété d'autre part. Un rôle illustré à travers une analyse de risque dans un complexe de Gaz Naturel Liquéfié dans la zone industrielle d'Arzew en Algérie.

Mots clés : Risques- Sûreté de fonctionnement - Management intégré - Facteur humain - Développement durable

Abstract

For a long time for most organizations, operational safety was mainly based on the performance of technical systems. The objective was to search for comfort, a guarantee of continuity of service and maintenance, cost of quality of a product or system data. This optimizes the couple "performance-cost," by identifying, evaluating and controlling fault that is likely to suffer. However they may lead to hazards leading to the lack of service (reliability problem), resulting in loss of production (the problem of availability and / or maintainability) or cause accidents with or without loss of life and damage the environment (safety issue). Today, technology development is no longer separated from the need of secure environment. Our contribution focuses on the role of the human factor in the integrated management of risks on the one hand and the role it may have to play in the safe operation meets its property on the other. A role illustrated through a risk analysis in a complex of liquefied natural gas in the industrial zone of Arzew in Algeria.

Keywords: Risk - Safety functioning - Integrated Management - Human Factor - Sustainable Development

Auteur correspondant : guenachi.khadidja@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Le système de management intégré (SMI) a pour but l'amélioration continue de la performance globale d'une installation. Cette approche structurée permet de fixer des objectifs de valeurs ajoutées tout en veillant à la qualité du produit, la préservation de l'environnement et à l'assurance de la sécurité des personnes et des biens. Ce type de système combine les exigences du cadre normatif en évolution depuis 1996. Il est basé sur les lignes directrices des normes ISO¹ 9000, pour la qualité, ISO 14000 et successeurs pour l'environnement, et OHSAS² et successeurs pour la santé et la sécurité au travail. Ce système de management permet une vision globale de l'entité considérée grâce à la prise en charge de l'ensemble des systèmes la constituant et des interactions entre eux. Ce processus qui désigne une suite d'états ou de phases d'une opération ou d'une transformation, peut-être également considéré comme un système organisé d'activités utilisant des ressources humaines, des équipements, de la matière première, de l'énergie, des données et des informations pour transformer des éléments entrants (les intrants) en éléments sortants (les extrants) et dont le résultat attendu est un produit fini ou un service requis. Celui-ci doit satisfaire les besoins de l'utilisateur, être disponible à tout instant, réparable en cas de besoin et ne créant aucune menace pour l'intégrité des personnes et de l'environnement comme le préconise la sûreté de fonctionnement. Dans le contexte d'étude de tout processus industriel, il est prioritaire de modéliser le comportement humain, et de faire ensuite une évaluation des performances attendues pour nourrir le système d'aide à la décision. Le facteur humain représentera pour ce dernier, le cœur du dispositif. Par conséquent, la maîtrise et la gestion des risques deviennent une préoccupation majeure. Elle sera d'autant plus difficile que les systèmes techniques, les organisations pour la production, l'exploitation et la maintenance ainsi que l'environnement dans lequel évolue le système est devenu de plus en plus complexe. Celui-ci est constitué de sous systèmes vivants, matériels et environnementaux, permettant le fonctionnement de l'installation dans un mode organisé.

Aujourd'hui, il est défini en système sociotechnique, en raison de l'imbrication de l'homme et de la technologie. Par ailleurs, la transformation d'un besoin donné et sa matérialisation en système lui conférant une fonction, associe de multiples activités intellectuelles, mettant en jeu des concepts abstraits pour obtenir des produits d'utilité publique. Il est alors question de la représentation du problème et de ses solutions possibles, à différents niveaux d'abstraction pour appréhender, conceptualiser, concevoir, estimer, simuler, valider et justifier des choix de mise en œuvre. La complexification des systèmes et des produits ou services recherchés conduit inéluctablement à des démarches de modélisation globale et systémique.

Celles-ci deviennent nécessaires pour prendre en compte toutes les menaces possibles, détecter les vulnérabilités des maillons faibles de la protection mise en place et développer des mécanismes résilients ainsi qu'une défense en profondeur fiable. Elle doit s'appuyer sur la professionnalisation des activités qui ont fait émerger de nouveaux métiers qui demeurent encore peu ouverts en raison d'une culture de risque absente dans beaucoup de pays notamment les pays émergents. Les règles de prévention et le principe de précaution en matière de risques, en vue de mieux protéger les travailleurs, les populations et l'environnement au sens le plus large incitent à mener une réflexion conduisant à la définition et à la coordination interdisciplinaire, transdisciplinaire et multisectorielle des différents modes d'appréhension du danger [1 - 4].

2. CADRE METHODOLOGIQUE : LES OUTILS OFFERTS PAR LES SCIENCES DU DANGER

Le cadre méthodologique consiste à modéliser, identifier, analyser, maîtriser, gérer et manager des événements non souhaités. Il s'agit de les analyser dans le processus de danger ce qui revient à évaluer, à priori ou à posteriori, la probabilité d'occurrence ou la fréquence et la gravité, ainsi que le niveau d'acceptabilité. L'outil utilisé est puisé dans les diverses techniques point de vue du danger³ (Sécurité, Ergonomie, Génie Sanitaire, Hygiène et Santé publiques...).

¹ International Standard Organisation

² Occupational Health Safety Assessment Series

³ Techniques des points de vue d'étude des dysfonctions en couple élaboré par l'IUT Bordeaux en 1996.

Les échelles d'évaluation disponibles peuvent être quantitatives (cardinales), qualitatives (ordinales); elles visent toutes à nous renseigner sur l'occurrence d'un risque et sa gravité. Les méthodes d'analyse et les outils d'évaluation des événements non souhaités (ENS) peuvent être classés en plusieurs groupes : à priori, à posteriori, technico-juridiques, scientifiques et techniques. La méthode MADS-MOSAR⁴ [5], un ensemble ordonné de manière logique, de principes, de règles, d'étapes, permet de parvenir à une analyse des risques. C'est une méthode générique qui permet d'analyser les risques sociotechniques d'une installation et d'identifier les moyens de prévention nécessaires pour les neutraliser. Elle constitue également un outil d'aide à la décision par les choix qu'elle met en évidence ou en exergue. Elle permet la connaissance des scénarii et leur neutralisation et facilite la construction du plan de prévention, d'intervention (PPI) et du plan d'organisation interne (POI), etc... Cette méthode se décompose en deux grands modules (A et B), le premier étant une analyse macroscopique du système et le second étant une analyse microscopique :

Le premier module ou module A permet de réaliser une identification des systèmes source de danger principaux, à partir d'une décomposition de l'installation en sous-systèmes. On y identifie de manière systématique comment chaque sous-système peut être source de dangers. Ceci, en référence à une grille de typologie des systèmes sources de dangers qui utilise le Modèle MADS⁵.

L'utilisation de la technique des boîtes noires permet de générer des scénarios de risques d'interférence entre les sous-systèmes qui, rassemblés sur un même événement constituent un arbre logique ou arbre d'événements. Ce modèle considère qu'un événement non souhaité (ENS) est un enchaînement d'événements (initiateurs, initiaux, renforceurs et principaux) issus d'un système source de danger et ayant un impact sur l'un des quatre systèmes cibles prédéfinis (installation, opérateurs, population, environnement). Ces quatre systèmes ont permis de définir le processus de dangers ainsi que les techniques des points de vue (Tab. 1).

Tableau 1. Les points de vue des techniques d'études des dysfonctionnements

Le point de vue des techniques d'études des dysfonctionnements - les couples		
Système source	Système cible	Points de vues
Installation	Installation	Sécurité des installations - Sûreté de fonctionnement - Sécurité des biens - ...
Installation	Opérateur	Ergonomie - Sécurité du travail - Sécurité des installations - ...
Opérateur	Installation	Fiabilité humaine - Malveillance interne - ...
Installation	Population	Hygiène et Santé publique - Génie sanitaire - HS de l'environnement - Médecine de catastrophe - ...
Population	Installation	Malveillance externe - ...
Installation	Ecosystème	HS de l'environnement - Ecologie appliquée - Génie sanitaire - Sécurité des installations - ...
Ecosystème	Installation	Risques naturels - Médecine de catastrophe - Urbanisme, ...

Université Bordeaux I - IUT A MADS CEA - INSTN

Le deuxième module ou module B permet de réaliser une analyse détaillée de l'installation. Il met en œuvre les outils de la sûreté de fonctionnement pour la recherche des dysfonctionnements techniques des machines et des appareils composant l'installation. Il met aussi en œuvre les approches de l'analyse opératoire pour la recherche des dysfonctionnements opératoires. L'alternance entre vision macroscopique et vision microscopique d'une installation permet le passage du global au détail et de remonter du détail au global. Un balayage intéressant entre les deux, dont l'avantage est de faire ressortir les dysfonctionnements, l'interdépendance des systèmes et l'influence de l'intervention de l'humain dans le processus global [4, 6, 7].

3. ADAPTATION DU CADRE METHODOLOGIQUE : SURETE DE FONCTIONNEMENT ET MANAGEMENT

L'environnement dans lequel évoluent les entreprises est aléatoire. Ces dernières pour se développer et être compétitives, doivent promouvoir des systèmes résilients, et par conséquent, capables d'adaptation et de réactivité en cas d'incidents, d'accident, de crise ou de désastre. Les démarches d'organisations classiques des entreprises se faisaient en quatre phases : Analyse de l'existant, diagnostic, recherche de solutions, et choix d'une option pour remédier à une difficulté. Cependant, les outils mis en œuvre, restaient insuffisants car ils n'offraient aucun moyen de quantification des sources de problème ou des risques encourus.

⁴ Méthode Organisée et Systémique d'Analyse de Risques

⁵ Groupe MADS de l'IUT Bordeaux, 1989, <http://hse.iut.u-bordeaux1.fr/lesbats/cdsdl/BANIRES.htm>.

Ceci rendait difficile voire impossible la hiérarchisation de leur criticité dans une vision globale et interactive où le décideur en dernier recours demeure l'opérateur ou le collectif des acteurs des opérations. Selon le groupe MADS, les disciplines classiques étudient principalement les processus répétitifs, reproductibles, contrôlables, permanents et réversibles. Ainsi, les Sciences du Danger⁶ [8], en émergence depuis les années 90, sont constituées de connaissances appartenant à des techniques du danger variées, structurées autour de problématiques de méthodes et d'outils identifiés et variés (ergonomie, sécurité et hygiène industrielle, fiabilité humaine, sécurité des installations, sûreté de fonctionnement, génie sanitaire, écologie appliquée, épidémiologie, toxicologie industrielle, gestion de crise...). Ces techniques d'étude du danger se basent sur les connaissances d'un grand nombre de disciplines appliquées (physiologie du travail, écologie, toxicologie, droit du travail, de l'environnement, ingénierie, épidémiologie, psycho socio du travail, sociologie des organisations...). Ces dernières étant à leur tour liées aux disciplines fondamentales (mathématiques, physique, chimie, biologie, droit, économie, sociologie) [5]. Globalement elles ont pour objet l'étude ENS dans un champ de danger qualifié d'hyperespace de danger qui est le siège d'un flux de danger (Matières, Informations, Energie) entre un système source et un système cible. En première analyse, elle aborde l'imprévisible, le peu probable, l'accidentel, le non contrôlable, l'irréversible et le "résidu de rationalité", en accordant à l'acteur une position centrale dans le processus. Ce qui renvoie à la perception, au vécu et à l'interprétation où le culturel sera déterminant. Par conséquent, en considérant l'entreprise, en entité globale à composantes humaine, technique, informatique et culturelle, l'approche système voire systémique représente un point de départ nécessaire pour tout ce qui concerne la sécurité dans le sens de l'innocuité des systèmes vis-à-vis de l'environnement (sécurité des personnes et des biens, sécurité écologique, etc.), tant en fonctionnement normal qu'en cas de défaillance.

Si la sûreté de fonctionnement a d'abord eu pour objectif de répondre aux exigences de

fiabilité du système, de disponibilité ensuite, en mettant en jeu des propriétés de fiabilité, de maintenabilité intrinsèques et d'efficacité de son système de maintien en condition opérationnelle, la démarche systémique elle permettra de répondre à des attentes de qualité de service sécurisé, généralement sous-tendues par des impératifs économiques dans un univers interactif. Cela implique non seulement une action sur les équipements, les logiciels et leur régulation entre les différents équipements mais également sur le management de l'activité en question dans son interaction avec l'environnement interne et externe.

C'est au facteur humain que reviendra la tâche de veiller à la réduction du risque de pannes opérationnelles, à l'application systématique d'actions correctrices liées à la présence aléatoire d'erreurs, d'incidents ou faire face aux menaces extra système et aux ENS. En toute sûreté, sa mission doit être à un niveau acceptable de risques d'accidents susceptibles de causer une agression du personnel ou une dégradation de l'équipement ou de l'environnement. Elle doit traduire un état de protection contre le danger ou les menaces.

Le terrain est en réalité un univers ouvert, non limité dans l'espace et dont les frontières peuvent se déplacer. Il appartient, alors à l'opérateur (acteur) de définir à chaque instant la frontière, hiérarchiser les priorités dans ce qui doit être pris en compte, et faire face aux événements non souhaités. C'est grâce à sa culture du doute, qu'il ne partage pas avec les machines qu'il demeure en éveil et est aux avant-postes d'un système ouvert.

Cette mission active de veille nous interpelle non seulement sur le rôle du facteur humain dans la sûreté de fonctionnement, mais également aux missions qu'il devra assurer pour faire face aux impacts des aléas environnementaux sur la fonctionnalité du système. Il faut que celui-ci soit sécurisé vis à vis des menaces accidentelles ou intentionnelles liées à l'environnement et qu'il soit capable d'assurer ses tâches à un niveau fiable de performance et de sûreté en maîtrisant ou en s'adaptant aux situations ou événements prévus ou imprévus voire improbables.

⁶ Science visant à rendre intelligibles et donc prévisibles, les dangers, les risques qui en découlent, endogènes et exogènes au sein d'un système et de permettre de les réduire [8].

Le défi du 21^{ème} siècle est de se préparer à l'imprévisible [8]. Et le concept de résilience des systèmes (RdS) prend place et se nourrit à la vigilance du facteur humain. Mais le bon niveau de sûreté de fonctionnement d'un équipement de sécurité, ne suffira pas à lui seul à parer aux accidents s'il n'est pas intégré dans une démarche globale de maîtrise des risques. Il ne peut pas remplacer à lui seul toute la vigilance des utilisateurs.

La sûreté de fonctionnement est devenue un concept qui englobe les notions habituelles de fiabilité, disponibilité, maintenabilité élargie aux notions de sécurité : comme le souligne Laprie [9] « c'est la propriété qui permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre ». Elle est donc l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Or, tout projet de réalisation d'un système donné est soumis à des aléas susceptibles de compromettre l'aboutissement aux objectifs. Alors les installations risquent d'être confrontées à des événements non souhaités (internes ou externes) et qui peuvent entraîner une situation de crise. Leur identification dans le processus de danger devient nécessaire. Il s'agit de rechercher l'origine des flux de danger au niveau du système source (dans sa structure, son fonctionnement, son évolution ou dans l'effet que son environnement actif y produit), au niveau des processus qui s'y déroulent (processus cognitifs, relationnels, technologiques et biologiques), rechercher les effets créateurs ou amplificateurs du flux de danger provoqués par les processus de champ, et évaluer les effets provoqués par le flux de danger sur le système cible [10 - 12].

4. LE FACTEUR HUMAIN AU CŒUR DU DISPOSITIF DE SECURITE

Les facteurs humains se définissent par leur finalité qu'est le besoin d'augmenter la performance de la composante humaine dans les systèmes techniques. Ils pensent les modèles et les mettent en œuvre, ils sont décideurs, managers ou les deux à la fois, ils sont ingénieurs, techniciens ou agents exécutants, mais également des citoyens dans un système d'un territoire donné dont le devenir est compromis, menacé ou encore insuffisamment sécurisé par rapport à une activité donnée. Les fonctions de performance sont par conception, réparties sur différents composants du système et le facteur humain est celui qui est en charge de la gestion de

l'ensemble. Il apparaît nécessaire voire fondamental, son intégration dans la sûreté de fonctionnement de l'organisation globale pour la maîtrise des risques. Pour bien réagir, l'opérateur doit être en mesure de se faire une bonne représentation mentale de la situation dans laquelle il se trouve [13].

L'équipe ou encore les acteurs concernés par la situation conflictuelle ou en dysfonctionnement doivent avoir un but commun et un intérêt partagé. Bien définir les tâches, rendre l'environnement plus ergonomique et plus sécurisé, améliorer les interfaces homme-machine, former le personnel et bien organiser le travail, sont autant de remèdes à mettre en œuvre, car ils sont garants d'un fonctionnement sécurisé. Les enjeux économiques, technologiques et environnementaux de la surveillance sont liés à des impératifs (opérateurs et matériels) et de protection de l'environnement et à la recherche de gains de productivité (Fig.1). Les trois grandes fonctions nécessaires à une bonne surveillance sont « voir », « comprendre », « agir ». L'opérateur analyse les informations reçues et décide des actions à entreprendre au travers d'actionneurs qui permettent d'agir sur le système. Il est important de remarquer que, si optimisation et maintenance sont des opérations qui s'inscrivent dans le temps de manière différente, la surveillance qu'elles impliquent peut être de la même nature mais est quasi permanente.

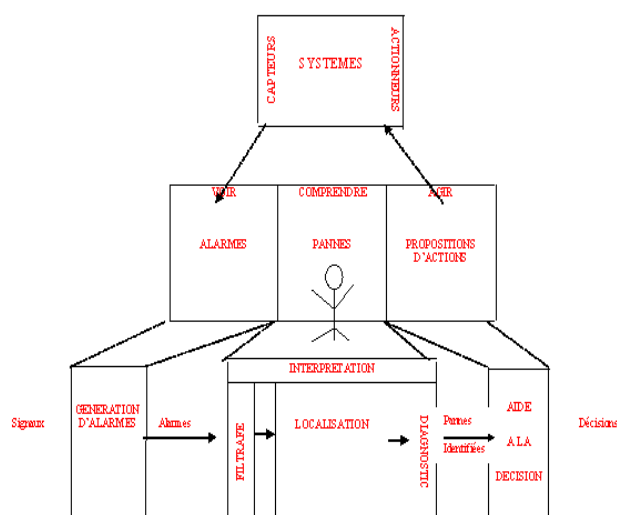


Figure 1. Architecture générale d'un système de surveillance en ligne.

Les accidents enregistrés⁷ à la fin du siècle dernier ont mis en évidence l'importance

⁷ Site web BARPI ARIA, 2008

fondamentale du facteur humain pour la sûreté des installations notamment à risques. Des travaux scientifiques, la Rencontre Internationale entre Scientifiques : les accidents Bhopal, Tchernobyl et Challenger en débat pour confronter les approches et comparer les résultats ont permis l'émergence des « Sciences du Danger » qui ont fait de l'homme l'élément central de la problématique risque.

Ces interventions de maintenance, de conduite des essais, et l'occurrence d'événements non souhaités susceptibles de provoquer un accident en l'absence de mesures palliatives, ont montré la limite des solutions strictement techniques. Aujourd'hui, les aspects de nature humaine et organisationnelles facilitent ou entravent les interventions humaines et contribuent ainsi à leurs probabilités de réussite ou d'échec.

A l'heure actuelle, plusieurs communautés de recherche, telles que celle de l'automatique, de la productique, de l'intelligence artificielle et bien d'autre s'intéressent au domaine de la supervision, et plus particulièrement celui du diagnostic pour assister les opérateurs dans la gestion des événements non souhaités. La littérature sur le diagnostic de défaillances dans les processus industriels est vaste [14, 15] s'étendant des méthodes analytiques à l'intelligence artificielle en passant par les méthodes statistiques. Au niveau modélisation, les méthodes de diagnostic ont besoin de modèles précis du processus, de modèles semi-quantitatifs ou bien qualitatifs. Par ailleurs, d'autres méthodes n'utilisent aucune forme de modèle, et s'appuient seulement sur les données historiques du processus et le retour d'expérience. Dans ce contexte, de part la difficulté de la construction d'un modèle fiable à 100%, en raison de la nature complexe ou non-linéaire du processus, il arrive souvent dans la pratique, que l'intervention de l'opérateur soit incontournable y compris en mode normal de surveillance, d'observation ou même de supervision automatisée.

Par ailleurs, selon Zwingelstein [16], les études de Sûreté de fonctionnement qui sont effectuées selon une démarche «classique» comportent un certain nombre de difficultés et d'insuffisances, en particulier :

- difficultés sur la connaissance du système étudié et la définition précise des fonctions à accomplir ;
- manque d'exhaustivité des analyses des modes de défaillance ;

- difficultés de dialogue avec les concepteurs.
- difficultés de prise en compte des interfaces.

Par conséquent un management efficace de la sûreté de fonctionnement passe par la mise en place d'une structure centralisée ou décentralisée responsable de :

- promouvoir la sûreté de fonctionnement pour l'intégrer au programme de développement du produit pendant son cycle de vie
- de servir d'appui aux différents services de l'entreprise en apportant toutes les compétences en matière de méthodes, d'outils, de conseils et de recommandations.
- d'émettre auprès des responsables concernés des avis et des recommandations pour s'assurer que les objectifs qualitatifs ou quantitatifs de Sûreté de fonctionnement seront effectivement atteints.

Dans le contexte des Sciences du Danger, en émergence depuis les années 90, qui est non seulement pluridisciplinaire mais également transdisciplinaire [6, 8] les systèmes sont considérés comme étant socio techniques et l'opérateur a à assurer la supervision en utilisant ses propres connaissances et son capital expérience pour maintenir le bon fonctionnement du processus. De ce fait, la connaissance technique et pratique aussi bien présente chez le manager, l'opérateur actant directement ou exploitant, le croisement des données et régulant l'information devient une question fondamentale.

Il s'ensuit inéluctablement qu'un fonctionnement en mode dégradé suite à un enchaînement d'événements non souhaités évoluant dans un contexte favorable où des données interconnectées concourent à l'aboutissement fatal de l'accident post crise y trouve matière à réflexion et à exploitation. Désormais, il est devenu essentiel que l'acteur humain puisse connaître, à tout instant, l'état de fonctionnement du processus. Pour cela, l'échange d'informations entre lui et le processus a été amélioré au travers des interfaces homme-machine. Mais au-delà de ces évolutions, désormais il faut qu'il soit également capable de détecter un dysfonctionnement le plus rapidement possible, de l'isoler, d'en identifier la cause probable de façon à réduire les conséquences néfastes et puis de proposer des actions

correctives. Les méthodes à base de données cherchent à découvrir des informations, sous forme d'exemples type ou tendances, au sein des mesures venant des capteurs et des actionneurs, pouvant identifier le comportement du procédé. Ceci suppose des performances multiples faisant appel à la transdisciplinarité ou à défaut une intervention d'une équipe multi et inter disciplinaire [15, 17 -19].

Dans ce contexte, nous avons développé, à partir d'intégration modulaire d'outils logiciels et des techniques de supervision, pour la surveillance, l'analyse et l'interprétation des données, la détection et le diagnostic des événements, un système d'aide à l'orientation de l'opérateur (acteur). Cet outil lui permettra de faire face aux événements non souhaités susceptibles de conduire à l'accident, la crise et/ou le sinistre. Il est à l'attention du collectif en charge des opérations, dans la prise de décisions. Cette intégration modulaire permet le choix et la combinaison des techniques (d'où la dimension de complémentarité) entre différentes méthodes les plus appropriées, selon les connaissances disponibles du processus à superviser, afin de donner à l'opérateur des informations exploitables pour la prise de décisions et en même temps alimenter la base de données théoriques mises à l'épreuve du terrain et de l'interaction active. L'intérêt avancé dans cette démarche réside dans le fait qu'il s'agit de promouvoir une exploitation complémentaire des apports de solutions issues de plusieurs approches. Le monopole de la solution miracle issue d'une discipline et d'un secteur, et les solutions strictement techniques ont largement montré leurs limites compte tenu des accidents et catastrophes à répétition vécus les 50 dernières années du siècle dernier.

5. APPLICATION A UNE INSTALLATION DE GAZ NATUREL LIQUEFIE (GNL)

5.1 L'activité GNL

Les usines de gaz naturel liquéfié se caractérisent par leur nombre relativement réduit dans le monde, la diversité des procédés technologiques utilisés ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation très élevés impliquant des retours de cas relativement restreints.

Le complexe GNL1/Z liquéfié le gaz naturel et fonctionne selon le procédé **APCI** (**Air Product and Chemical Incorporated**) où le

Gaz Naturel entre avec une pression de 45 bars et une température de 28°C, il subit alors différents traitements conduisant à sa liquéfaction à une pression atmosphérique et une température de -163°C (Fig. 2). Le GNL est classé au niveau des dangers physico-chimiques (explosibilité, caractère comburant, inflammabilité).

Cette installation transforme, produit et stocke le gaz et tous ses dérivés. Elle peut être le siège de risques d'incendie, d'explosion, de pollution marine et de pollution des sols. Elle est classée dans la catégorie des installations (risques technologiques majeurs).

La chaîne de liquéfaction du GNL est considérée comme un système complexe. La supervision de ce type de processus est une tâche importante qui est encore en grande partie une activité manuelle, exécutée par les opérateurs, notamment lorsqu'il s'agit de répondre aux événements anormaux. Cette activité, peut selon la nature et la criticité des anomalies ou dysfonctionnements, avoir un impact économique, environnemental et de sécurité significatif, non seulement, au niveau des équipements mais aussi des opérateurs. Par conséquent, l'amélioration de la fiabilité de la chaîne et sa sécurisation dans sa globalité se traduirait objectivement par une réduction substantielle des coûts. En outre, le fait de gérer une grande quantité d'information et d'avoir besoin d'agir vite peut mener les opérateurs acteurs à prendre des décisions inappropriées.

Face au développement et à la multiplication des méthodes techniques de sûreté de fonctionnement, le système doit être doté d'une base de données de fiabilité, régulièrement alimentée par le retour d'expériences. Ces données proviennent du système lui même, du traitement des incidents, des retours de systèmes équivalents et du système d'analyses techniques de défaillances mais dans sa dimension socio technique.

5.2 Présentation du système étudié

Le complexe GL1/Z a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de Hassi R'Mel⁸, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline. Le GNL (Fig. 2) est pompé et chargé dans des méthaniers au port d'Arzew qui sont conçus spécialement pour le transport

⁸ Hassi R'mel : Ville située au sud de l'Algérie où existent des gisements d'exploitation.

¹⁰ Arzew : Port Algérien à l'ouest d'Algérie, Complexe Pétrochimique, d'Arzew, Oran, Algérie

cryogénique pour être expédié vers l'étranger. Ce complexe est situé au nord ouest du pays à 40 Km de la ville d'Oran, à côté d'un petit village au bord de la mer méditerranéenne nommée "Bethioua". Son implantation est entre un complexe à l'est et un autre à l'ouest. au bord de l'autoroute de la zone industrielle d'Arzew. Un positionnement dans un rayon urbain de 50 Km. Le complexe GNL1/Z comprend trois (03) zones essentielles.

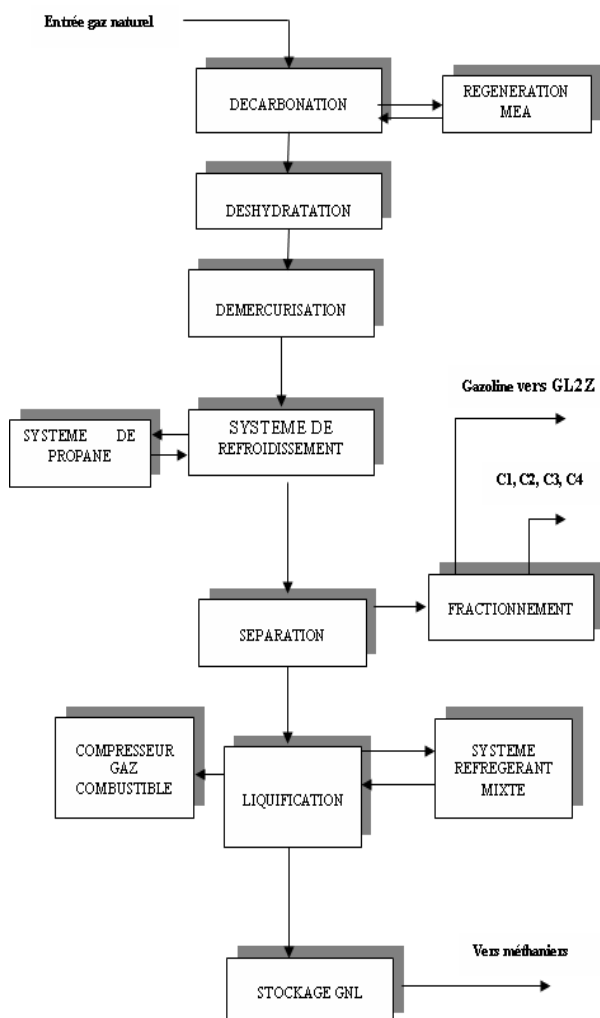


Figure 2. Processus de liquéfaction.

1^{ère} ZONE : Les utilités

Elles constituent une zone importante au sein du complexe GL1/Z. Elles permettent d'assurer la fourniture de tous les besoins pendant le démarrage et la marche normale des trains de liquéfaction. Elles fournissent l'énergie, assurent le refroidissement, la production d'électricité, de l'air comprimé et le dessalement de l'eau de mer.

2^{ème} ZONE : La zone Process

Elle est composée de six (06) trains qui produisent 9000 m³/jour/train de GNL. Chaque

train dispose de sa propre production de vapeur, sa propre section de décarbonation, de séchage et de liquéfaction des hydrocarbures.

3^{ème} ZONE : La zone Terminal

Elle représente la zone de stockage et de chargement, elle contient

- trois (03) réservoirs de GNL d'une capacité de 100000 m³,
- Un (01) réservoir de gazoline d'une capacité de 14500 m³.
- Une station de pompage de GNL d'une capacité de 10000 m³/h.
- Deux (02) quais d'expédition avec dix (10) bras de chargement.

5.3 Modélisation du système étudié et décomposition en sous-systèmes

La liquéfaction du gaz naturel nécessite tout d'abord son traitement, qui consiste à éliminer les impuretés (CO₂, H₂O, Hg et les métaux lourds) contenues dans le gaz naturel et qui peuvent être solidifiées lors de la liquéfaction (à basses températures), pour avoir un gaz naturel traité (GNT) composé principalement de Méthane, qui peut être enfin liquéfié, les lourds sont envoyés pour un fractionnement. Selon les fonctions nécessaires dans le procédé de liquéfaction, nous décomposons le système en quatre (04) parties constituant l'hypermécanisme :

- ✓ Traitement du gaz naturel.
- ✓ Liquéfaction et compression.
- ✓ Fractionnement.
- ✓ Les utilités

Le sous système vivant comprend les acteurs des opérations (manager, cadres de productions, acteurs travaillant sur site ainsi que la population en interne (visiteurs temporaires ou de passage) ou en externe (riverains) à l'installation.

L'environnement naturel inclut les conditions climatiques (température, vent, brouillard, air marin...), inondations, séisme et mouvement du terrain, etc.

L'environnement matériel englobe les complexes voisins, les routes en interne, externes, ferroviaires, la zone industrielle, les agglomérations avoisinantes, etc. ce qui permet de traduire l'installation par l'hypermécanisme de danger [5].

L'hypermécanisme de danger circonscrit dans l'espace et dans le temps va être étudié en fonction d'un regard croisé, multidisciplinaire et recherchant les systèmes sources et cibles des dangers et des risques qui se

matérialiseraient après que les flux de danger s'établissent. Ces flux étant de la matière, de l'information ou encore de l'énergie au vu de la composition d'un système en général et celui de la liquéfaction du gaz naturel en particulier.

Les différents impacts de l'installation et de l'opérateur et vice versa relèvent de la sûreté de fonctionnement au sens de sa définition classique. Dans notre analyse nous allons considérer l'acteur humain en interaction avec son environnement global. L'installation étudiée peut être décomposée en sous systèmes qui se déclinent comme suit :

1) Sous système matériel : les aspects sont d'ordre technique et relèvent de la surveillance technique planifiée selon les outils connus (Sûreté de fonctionnement, maintenance prédictive et maintenance etc.), il s'agit de :

- SS1 : Traitement du gaz naturel,
- SS2 : Liquéfaction et compression,
- SS3 : Fractionnement.
- SS4 : Les utilités des blocs fonctionnels SS1, SS2, SS3

L'analyse des risques à ce niveau s'élabore sur la base de l'étude du processus industriel et est essentiellement basée sur la performance des équipements, leur observation, supervision et surveillance manuelle ou couplée manuelle/automatique. Ceci relève de la sûreté de fonctionnement classique. Le niveau de performance atteint à ce niveau est assez satisfaisant.

2) Sous système vivant SS5 : les aspects considérés sont alors d'ordre comportemental et relèvent de la gestion des compétences, des ressources humaines et de la malveillance (aspects cognitive, psychologie et sociologie du travail, ergonomie et les phénomènes de société), il comprend :

- Opérateurs en ses différentes échelles (exécutant, chef de section et autre, managers),
- Population en interne (stagiaires, visiteurs et sous traitant) et en externe (les institutionnels, les riverains, etc.).

L'opérateur ou le collectif acteur des opérations de production, chacun à son niveau, doit justifier d'une compétence couplée technique-sécurité, technique-juridique, technique-gestion, gestion-management. Il a à faire face soit à un dysfonctionnement technique, soit à une situation inédite due à une malveillance ou encore à un cataclysme naturel. Ce sous système est souvent peu étudié ou relégué au profit de la performance technique.

3) Sous système environnement : les aspects considérés sont d'ordre mise en condition opératoire et opérationnelle de l'activité industrielle étudiée. Il comprend :

- SS6 : Environnement naturel,
- SS7 : Environnement matériel.

L'influence de l'environnement naturel ou matériel qui entoure une activité donnée est avérée aujourd'hui. Il n'est plus question aujourd'hui d'entamer une activité sans en faire au préalable l'étude d'impact et de danger¹¹. Les installations classées sont soumises à une autorisation administrative de la part des compétences territoriales. Cela permet, quand elle existe de constituer une base d'information au support d'aide au reporting des situations de danger que nous tentons de mettre en place en vue d'une meilleure prise en charge des risques et anticipation sur les événements non souhaités. La décomposition permet de préparer la mise en place des scénarios de risques et de montrer l'effet dominos par interaction des sous systèmes les uns sur les autres. Une modélisation en blocs fonctionnels traduite en sous systèmes permet de générer les scénarios du plus court au plus long à celui de l'autodestruction par identification des événements initiateurs qui se transformeront en événements initiaux qui deviendront principaux par des effets renforceurs.

5.4 La première étape du module A : identification des sources de danger

5.4.1 Les sous systèmes vivants

Le premier travail est d'identifier les sources de danger de chaque sous-système en repérant en quoi chaque sous-système peut être source de danger. Cette identification pour tous les sous-systèmes permet d'obtenir une liste exhaustive et non limitative des dangers encourus par l'installation et son environnement. Une deuxième analyse en complément à la première basée sur le plan comportemental et émotionnel de l'acteur des opérations quelle que soit sa position, de la formation qu'il a ou pas suivie, de la connaissance acquise ou à acquérir, du niveau de l'organisation mise en place et de la communication entre les différents types d'intervenants dans le site permet la construction de la boîte noire (Fig. 3). Il est procédé à une combinaison entre ceux qui représentent des événements initiateurs en présence de conditions favorables pour devenir principaux.

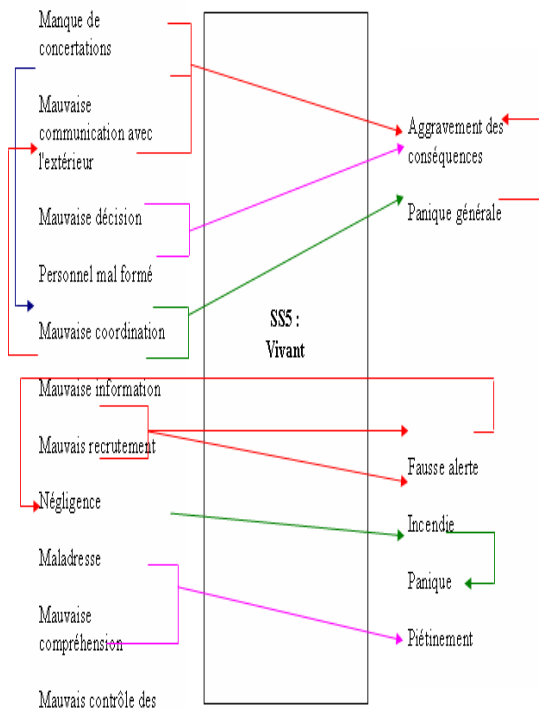


Figure 3. Les enchaînements liés au facteur humain

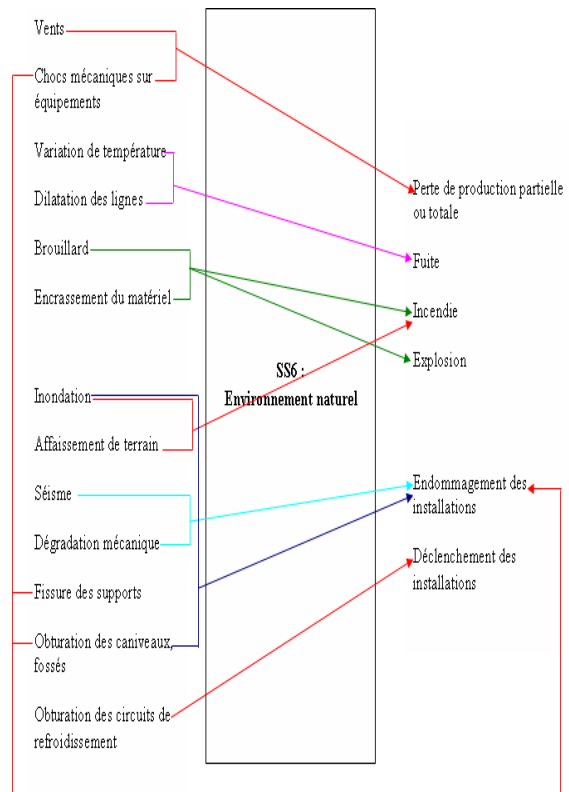


Figure 4. Les enchaînements liés à l'environnement naturel

5.4.2 Les Sous systèmes environnementaux

L'environnement naturel (Fig. 4), consiste en des conditions de mise en œuvre en interne et en externe. Ces dernières ont une conséquence sur le facteur humain qui est le garant de la sûreté de fonctionnement. Les facteurs naturels aggravants échappent à l'homme et à son contrôle. La première étape terminée, les premières mesures et barrières adoptées, le deuxième palier est l'identification des processus de danger. La construction de scénarii à partir d'évènement non souhaités enclenchés grâce à des évènements initiateurs, rencontrant des évènements renforçateurs pour conduire à l'évènement principal.

L'environnement externe matériel (Fig. 5), c'est-à-dire le (ou les complexes) avoisinant, le port et ses infrastructures ainsi que les moyens de transports (routes, trains, voitures) peuvent également être source de dangers sur le complexe étudié et sur les performances de l'opérateur et du collectif en charge des opérations. Etre en mesure de détecter les répercussions d'une défaillance technique, organisationnelles ou encore managériales d'un complexe voisin revient à dire que la maîtrise de ses risques commence par la maîtrise des risques susceptibles de se produire en externe.

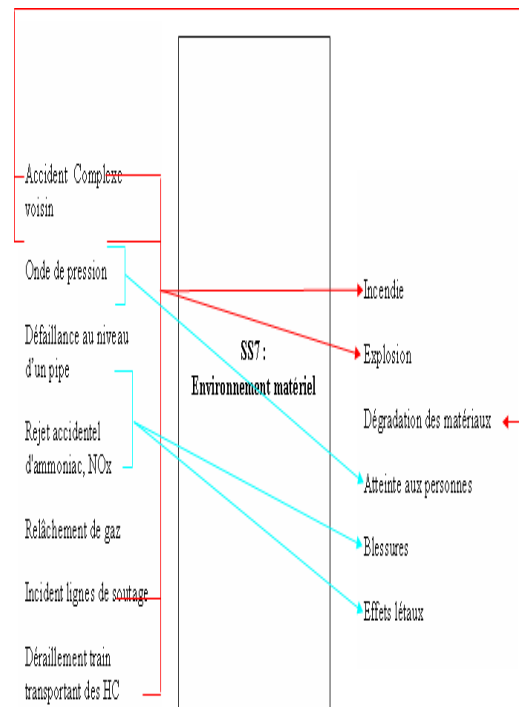


Figure 5. Les enchaînements liés à l'environnement matériel

5.5 La deuxième étape du module A : Identification des scénarios de danger

Dans beaucoup de cas, on admet que les scénarios d'accidents sont connus notamment grâce au retour d'expériences. Il est cependant intéressant de pouvoir générer des scénarios d'accidents improbables. Ceci permet de démontrer leur genèse, d'identifier des variantes, voire anticiper des scénarii insoupçonnés et enfin de créer une suite logique d'évènements pouvant conduire à un arbre des causes montrant l'enchaînement de tous ces évènements.

La première partie de ce travail consiste à isoler chaque sous-système, en reprenant chaque sous-système représenté sous formes de boîtes noires. Les entrées sont les évènements initiateurs d'origine externe ou interne et les sorties sont les évènements principaux (Fig. 6).



Figure 6. Les boîtes noires.

Il s'agit de mettre en œuvre la génération des scénarios courts et des scénarii d'auto destruction en exploitant les enchaînements (Fig. 3), relatifs aux enchaînements liés à l'opérateur et les influences de l'environnement matériel et vivant. Ces enchaînements permettent de ressortir les vulnérabilités et de les conjuguer aux enjeux probables. Dans la figure 4 nous considérons les effets dévastateurs de l'environnement naturel et dans la figure 5 celui de l'environnement matériel. Une hiérarchisation des scénarios à partir des mesures préventives et une validation des barrières techniques et/ou opératoires en fonction des probabilités d'occurrence et de la gravité des impacts des risques les plus ou les moins probables permet de fixer les zones tolérables des zones intolérables. En focalisant particulièrement sur l'opérateur, nous développons des scénarii courts, longs et d'autodestruction. A partir de ces derniers, nous développons le scénario long (Fig. 7) en relation avec l'acteur des opérations avec en entrée l'impact de l'environnement naturel et matériel sur le facteur humain avec à la sortie un évènement principal qui est l'incendie explosion et/ou l'aggravation des conséquences.

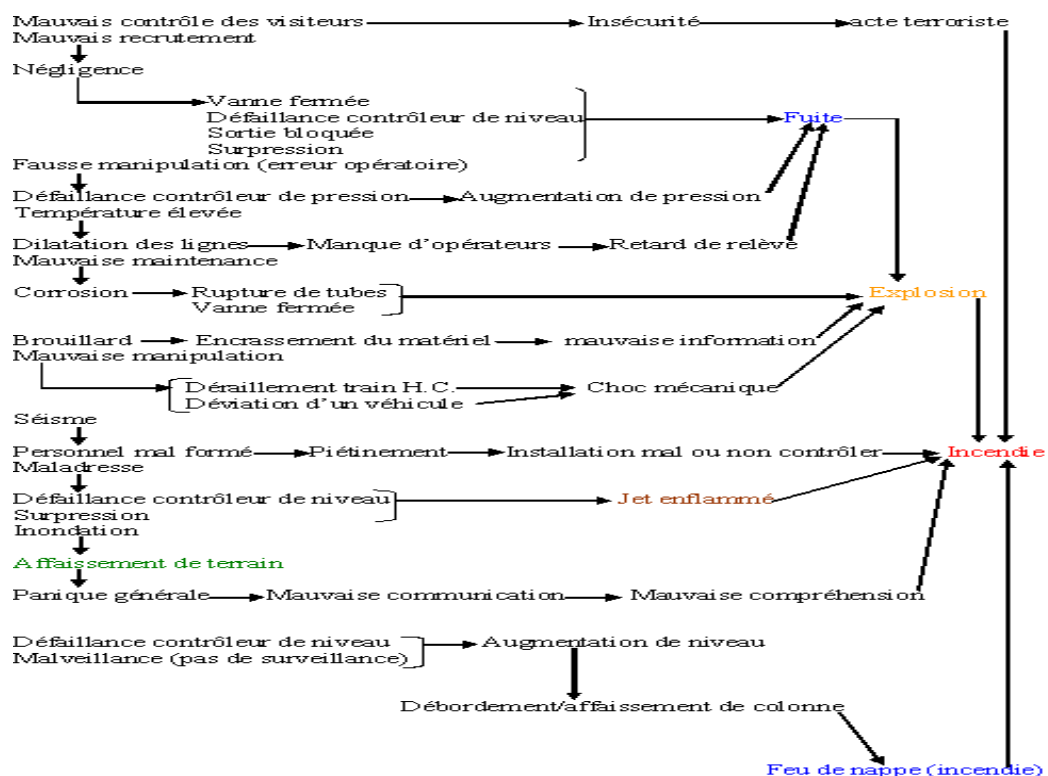


Figure 7. Scénario long élaboré à partir des effets de l'environnement matériel, naturel et aux comportements du facteur humain en ses différents paliers de la responsabilité

6. EVALUATION DES SCENARIOS DE RISQUES

Comme nous l'avons vu plus haut, cette étape permet d'évaluer les risques quantitativement par l'utilisation de logiciels notamment ou qualitativement par un travail de groupe si le calcul n'est pas réalisable. Pour la construction de l'arbre des causes, nous considérons le scénario conduisant à un incendie (Fig. 7). Chaque évènement élémentaire a été affecté d'une probabilité d'occurrence qui nous paraissait correspondre le mieux à la réalité. Nous nous sommes basés sur l'application de la méthode MADS-MOSAR pour arriver à l'arbre des causes d'un incendie et en considérant ce qui a été développé par Zwingelstein [16], dans la perspective d'introduire le facteur humain dans la sûreté de fonctionnement, nous proposons un cahier des charges sous forme d'un didacticiel permettant à la structure regroupant des experts et des spécialistes de s'assurer que ce document consigne les responsabilités, les étapes, les méthodes prévisionnelles ou opérationnelles et les liens contractuels avec d'autres structures pour permettre à l'opérateur acteur de minimiser ces erreurs. A partir de ce constat, nous nous intéressons au module B pour la sûreté de fonctionnement que nous appliquons au facteur humain sous l'influence d'un environnement externe naturel et matériel. Nous proposons aussi les barrières que nous jugeons adaptées ainsi que le support didacticiel d'aide à la décision.

7. EXPERIMENTATION ET RESULTATS

Un collectif d'acteurs doit faire face à l'endommagement d'une installation suite à une explosion provoquée par l'environnement matériel (Fig. 5) de cette installation située à 50Km d'une zone urbaine importante. L'acteur des opérations doit « voir » « comprendre » et « agir » selon la (Fig. 1) dans un contexte socio technique pour faire face à l'explosion. La figure 7 traduit un ensemble de scénarios court, long et d'auto destruction notamment celui conduisant à l'incendie en impliquant le comportement de l'opérateur sous l'effet des environnements matériels et naturels. Leur hiérarchisation et l'arbre des causes permettent de sélectionner et anticiper sur une situation de crise d'abord à caractère technique pour ensuite devenir critique en raison de l'ampleur qu'elle peut prendre et le degré de dégénérescence qui pourrait en découler sur le plan social.

©UBMA - 2012

Il s'agit donc pour l'acteur, d'être en mesure de repérer le (s) dysfonctionnement (s), d'en saisir la portée technique et le degré d'handicap qu'il peut générer (Fig. 2). Il est question d'agir sur le système source de danger et de maîtriser les processus qui s'y déclenchent (sans négliger l'impact que peut avoir le flux de danger sur leurs utilités) en s'appuyant sur les techniques de point de vue (Fig. 5).

Dans un souci d'illustration sur l'exemple le plus appréhendé, nous optons pour le scénario incendie, pour développer un système d'aide à la décision. Il s'agit de mettre en exergue les différentes interactions (Fig. 8 ; Fig. 9).

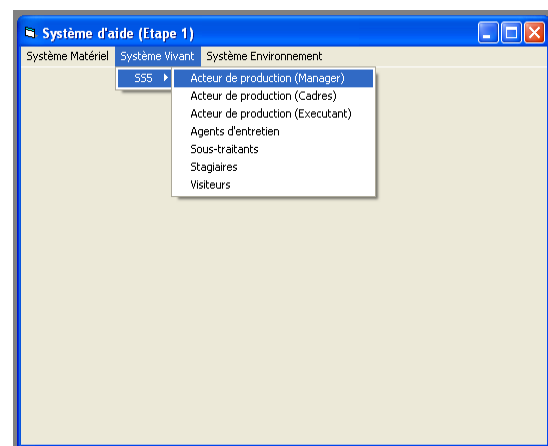


Figure 8. Interface d'accueil du SAD : Identification de l'acteur

L'outil proposé vise une meilleure prise en charge des dysfonctionnements, intégrant des informations et des données concernant les conditions climatiques et les évènements liés au voisinage matériel.

La figure 8 propose la liste des différents sous-systèmes où chaque sous-système propose la liste de ses acteurs. Cette présentation tient son originalité du fait qu'elle tient compte des apports de la science de l'ingénieur, des sciences sociales et juridiques, des sciences médicales et psychologie d'entreprise etc.

Le système d'aide à la décision proposé se décline sur plusieurs niveaux. La figure 9 permet à l'acteur humain par exemple, après s'être identifié de s'encquerir des sources et flux de danger correspondant au scénario en cours de traitement.

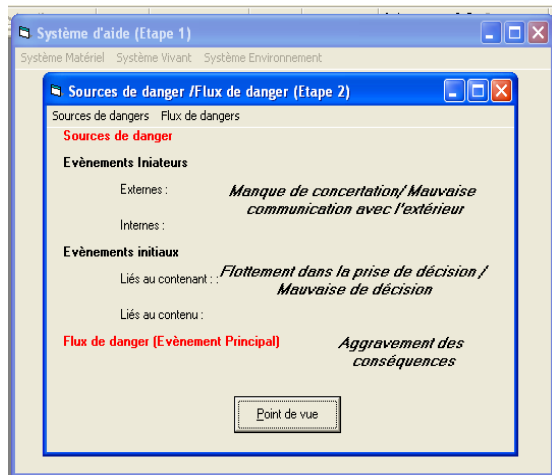


Figure 9. Identification des sources et flux de dangers disponibles

Des mesures préventives peuvent être prises à plusieurs niveaux : maîtriser les événements initiateurs internes au système source, neutraliser les effets négatifs du flux sur le système source et sur les processus variés qui s'y déroulent, avoir le contrôle du flux après son apparition et avant les sorties du système source. Intervenir au niveau du flux de danger avant son effet sur le système cible ou sur le système source lui-même permet de diminuer la gravité des effets sur le processus qui s'y développent.

Cela revient à mettre en place des processus de régulation d'ordre technologiques, relationnels, cognitifs au niveau des systèmes sources et cibles du danger. Gérer, manager les ENS dans le processus de danger consiste à réfléchir, à priori ou à posteriori, sur les actions à mettre en place en vue d'augmenter à son niveau (local ou général) l'efficacité de l'identification, de l'analyse et de la maîtrise des processus de danger. Ce qui nous permettra de dégager des tâches relatives à la gestion et au management du processus de danger qui sont les tâches d'organisation et de pilotage. Il y a au moins trois catégories d'acteurs de gestion et de management du processus de danger : les gestionnaires du système source de danger, les gestionnaires du système « cible » de danger, les gestionnaires du champ de danger et le corollaire de réussite de l'interface communicationnelle entre eux.

Alimenter la base de données en informations et en introduisant des correctifs au process au fur et à mesure que le retour d'expérience nourrit, améliore et fait vivre le modèle via un processus de reporting des nouvelles sources identifiées.

A partir de ce reporting approprié des ENS aussi bien pour le sous système matériel

qu'environnemental place le facteur humain au cœur du dispositif décisionnel, que la décision relève de l'ordre technique, organisationnel ou managérial.

8. CONCLUSION

En conclusion, il y a lieu de souligner que nous vivons encore dans le paradigme hérité des années passées d'un système conduit par des opérateurs de proximité (de première ligne) responsables du comportement final de l'ensemble homme - machine. Néanmoins celui-ci s'est optimisé au fil des ans, en franchissant différentes barrières (travail en ambiances nocives, travail de nuit, travail sur écrans, conduite à distance, aides automatisées, etc.). Par ailleurs, les solutions techniques sont améliorées mais en augmentant progressivement la complexité du système, celle-ci est devenue le point limitant l'action du facteur humain. Celui-ci doit s'adapter aux exigences de la complexification des systèmes sociotechniques. Son rôle étant capital dans l'évitement des dérives accidentelles ou intentionnelles, prévisibles ou imprévisibles à caractère risque mineur ou majeur. Les solutions existent potentiellement, mais elles demandent une éducation des différents acteurs aux risques et un changement conséquent de mentalité à tous les niveaux de la hiérarchie. Il s'agit de repenser la relation entre la technique et l'homme dans le dialogue des disciplines. Il s'agit d'entamer une logique d'intégration, de confrontation, une mise en tension permanente dans un esprit constructif.

Il est admis quand la technique et l'homme doivent s'assembler, la résultante est irréductiblement hétérogène. Même si la part intégrable de l'homme progresse de pair avec la connaissance, elle n'en demeure pas moins marginale en regard de sa globalité : l'homme ne peut être appréhendé sous forme de facteur, il est l'acteur et l'acteur principal. Par ailleurs, ces dernières décennies ont été le théâtre d'un grand nombre d'accidents et de catastrophes où le rôle de l'homme était dominant. Ce qui induit la nécessité d'une recherche approfondie en vue d'une meilleure compréhension des erreurs humaines et des défaillances organisationnelles dans les activités industrielles. Le besoin de dépasser les cloisonnements disciplinaires et sectoriels pour étudier ces questions liées à la fiabilité, à la disponibilité, la maintenabilité en toute sécurité. Les formes d'accidents changent et les besoins de recherche évoluent vers une gestion dynamique des défaillances et des

dysfonctionnements dans une vision globale et intégrée.

A travers ce papier, nous avons souhaité mettre en relief le rôle du facteur humain dans la maintenance d'une installation en sortant des sentiers battus de la sûreté de fonctionnement où uniquement les solutions techniques sont mises en avant pour diagnostiquer les causes. Nous avons proposé en ce sens, un outil d'aide à la décision permettant d'orienter les acteurs vers les probables erreurs qu'ils peuvent commettre, et qui risquent d'engendrer un sinistre. En même temps, nous avons essayé de leur faire jouer un rôle actif en leur permettant de participer à l'évolution de la base de connaissance de l'outil d'aide et par la même occasion à la formation des acteurs.

Nous avons intégré les causes sources de dangers et liées à l'environnement externe de l'installation. Ces sources étant dues à un environnement naturel, matériel, vivant ou encore socio-économique.

REFERENCES

- [1] Leroy A., Signoret J.P., 1992. Le risque technologique, Que sais-je ?, Presses Universitaires de France (PUF), 124p.
- [2] Hannaman G.W., Spurgin A.J., Lukic Y., 1985. A model for assessing human cognitive reliability in PRA studies, IEEE Third Conference on Human Factors and Nuclear Power Plants, Monterey, California, June 23–27.
- [3] SAE, 1967. Design Analysis Procedure for Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA). Recommended Practice ARP 926, SAE Aerospace.
- [4] Kervern G.Y., Rubise P., 1991. L'Archipel du Danger, Ed Economica, 444p.
- [5] Perilhon P. et Londiche H., 1993. Analyse génériques des risques. Editions Groupe ARI (Analyse du Risque Industriel), 30p.
- [6] Nicolet J.L., Planchette G., Valancogne J., 2002. Et si les risques m'étaient comptés, Ed Octares, 171p.
- [7] Portal T., 2009. Crises et Facteur humain, les nouvelles frontières mentales des crises. Collection Crisis, Ed De Boeck, 93-106.
- [8] Kervern G.Y., 2007. Cindyniques, Concepts et mode d'emploi, Philippe Boulenger. Ed., Economica, 101p.
- [9] Laprie J.C., 2001. Rapport LAAS N°01326. Ouvrages (contribution), Risques erreurs et défaillances, MSH-Alpes, 123-147.
- [10] Pagès A., Gondran M., 1980. Fiabilité des Systèmes, Vol. 39, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Eyrolles.
- [11] Vache G., 2009. Evaluation quantitative de la sécurité informatique : approche par les vulnérabilités, thèse de doctorat Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse. 190p.
- [12] NEA/CSNI/R, 2003. ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-cause Failure of Check Valves, 21p.
- [13] Fanchini H., Bieder, C., 1996. Le rôle positif de l'homme dans la fiabilité des systèmes. Rapport ISdF, Projet 7/95.
- [14] NEA/CSNI/R 2003. Recurring Events, Vol. 2, 19p.
- [15] Vaughan D., 1996. The Challenger Launch Decision. Risky technology, culture, and deviance at Nasa. The University of Chicago Press, 592p.
- [16] Zwingelstein G., 2009. Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes – Exemples d'applications, Techniques de l'Ingénieur, Référence S8253, 90p.
- [17] Lagadec P., 2007. Enseigner la question des crises Enjeux Obstacles et Initiatives. Cahier du laboratoire d'économétrie, 2007-01, Ecole Polytechnique.
- [18] Sagan D., 1993. The limits of Safety: Organizations, Accidents and Nuclear Weapons. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 31-36.
- [19] Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes. Procédures d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE). Publication 812 de la CEI, 1985, p. 17