**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE**
**UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA**

## Faculté De Technologie

**Département de Génies des procédés et environnement**

## *Mémoire de fin d'études de Master*

Filière : Hygiène et sécurité industrielle
Spécialité : Hygiène et sécurité industrielle

**Thème**

# Évaluation de la performance des plans internes d'intervention

**Disposé par:**

- Beniassa laissaoui

**Déposer le : 16/06/2022**

**Devant la composition du jury :**

***Promoteur :*** *Rahmani Ahmed chérif*

***Année universitaire: 2021/2022***

## *Remerciements*

*Avant tout nous remercions « Allah » tout puissant qui nous a donné le courage la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail. Merci denous avoir éclairé le chemin de la réussite. Nous souhaitons tout d'abord remercier l'administration et les professeursdela faculté technologie et tout qui nous donné le courage pour contenunotreétude. Nous adressons nos plus vifs remerciements notre encadreur Mr. Rahmani A pour ses conseil et son suivi durant la périodedelaréalisation de ce travail. Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos procheset amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisationde ce mémoire. Merci à tous et à toutes.*

## *DEDICACE*

***A nos chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance...***

***A notre encadreur Mr . Rahmani ahmed cherif qui a crédité de sa confiance***

***cette recherche et pour la somme de ses conseils et de ses Recommandations...***

***A nosA nos familles respectives pour leurs aides et soutient permanents...***

***A nos meilleurs amis...***

***A tous ceux qui nous aime et tous ceux que nous aimons...***

***Nous vous dédions ce modeste mémoire. chers frères***

# ***Liste des figure***

Figure I.1− Processus de gestion des urgences et des crises

Figure I.2− Procédure de mise en place des plans de réponse à l'urgence

Figure I.3− Chaine générale de commandement de l'incident

Figure I.4−Schéma général d'organisation

Figure I.5− Plan d'alerte, schéma de principe

Figure I.6− Modèle structuro-fonctionnel d'un Plan d'Opération Interne

Figure II.7− Représentation du module de synthèse [Pérès et al. 2007]

Figure II.8− Principales méthodes de modélisation des incertitudes

Figure . 3. Chaine générale de Commandement de l'Incident « ICS »

***Liste des tableaux***

*Tableau II.1− Loi Dirac et ses caractéristiques*

*Tableau II.2− Loi log-normale et ses caractéristiques*

*Tableau II.3− Loi uniforme et ses caractéristiques*

*Tableau III.1− Probabilité de défaillance des éléments physiques de la phase signalement d'alerte*

*Tableau III.2− Probabilité de défaillance des éléments physiques de la phase intervention opérationnelle*

*Tableau III.3− Probabilité de défaillance des éléments physiques de la phase intervention incendie*

*Tableau III.4− Indicateurs de performance du plan interne d'intervention*

Tableau III.5 : Résultat de la simulation avec incertitude aléatoire et sans incertitudedes paramètres

Tableau III.6− Résultats obtenus avec l'incertitude aléatoire et l'incertitude des paramètres

Tableau III.7: Résultat de la simulation Monte-Carlo avec incertitude aléatoire et incertitude des paramètres après les améliorations proposées

## *Introduction générale*

L'accident industriel majeur est un accident grave très peu probable qui peut se produire sur un site industriel, et dont les conséquences dépassent les limites du site et peuvent atteindre les populations avoisinantes, ses effets et ses consé

quences dépendent de la nature des produits stockés et de la quantité distribuée et commercialisée, il se manifeste le plus souvent par un incendie, une explosion, un nuage toxique En effet, l'occurrence d'accidents majeurs survenus dans le domaine pétr olier à travers le monde, est la preuve que le risque est omniprésent, ceci nécessite une approche globale, permettant, sur la base de l'analyse du retour d'expérience, d'enrichir la réflexion, déjà entamée sur les moyens les plus efficaces à mettre en œuvre tant au stade de la prévention que ceux de la gestion des urgences et de la planification de secours.

Un plan interne d'intervention est un outil de gestion et de planification, visant a protéger les travailleurs, la population, les bien et l'environnem ent et définissant l'ensemble des mesures de prévention des risques, les moyens mobilisés a ce titre ainsi que les procédures a mettre en œuvre lors du déclenchement du sinistre.

Un Plan Interne d'Intervention (PII) est aussi une exigence réglementaire, él

Aboré et mis en œuvre sous la responsabilité des exploitants des

installations industrielles dites ICPE

(InstallationsClassés pour la Protection de l'Environnement), sur la base des résultats des Etudes dedangers EDD. Le thème d'étude qu'on a choisi consiste à expliquer les démarches nécessaires pour l'élaboration du PII, pour enfin répondre a la problématique posée qui est:

# *Problématique*

Le thème d'étude nous avons choisie consiste à expliquer l'élaboration du plan interne d'intervention d'un site industriel.la problématique pose c'est :

Pourquoi un PII ? Et comment élaborer un plan interne d'intervention ?

Est quel service va donner un PII pour un site industriel ? Et enfin

Pourquoi faut-il se doter d'un plan interne d'intervention ?

Pour répondre a ces interrogations nous avons émis quelques hypothèses vont confirmées ou infirmées à l'un de notre étude :

**H1** : Un plan interne d'intervention et aussi une exigence réglementaire élaboré et mise en œuvre sous la responsabilité des exploitants des installations industrielles dites ICPE sur la base d'une étude de danger approuvée.

**H2** : le plan interne d'intervention est basé sur l'étude de danger du site visé et par les textes réglementaires

**H3** : La Réalisation d'un PII au sein d'une station de service est pour maitriser les risques et situation d'urgence ; pour minimiser les impacts sur l'environnement .

# *GLOSSAIRE*

**Accident :** Événement involontaire provoquant des préjudices

**Analyse des risques :** Emploi systématique des informations disponibles pour déterminer les dangers et en évaluer le risque.

**Arrêté :** Un arrêté est un acte administratif à portée générale ou individuelle (spécifique à une exploitation ou une zone géographique). Les arrêtés peuvent être pris par les ministres (arrêtés ministériels ou interministériels), les préfets (arrêtés préfectoraux) ou les maires

**Danger :** Un danger est toute source potentielle de dommage, de préjudice ou d'effet nocif à l'égard d'une chose ou d'une personne.

**Décret :** Acte réglementaire signé soit du Président de la République, soit du Premier Ministre.

**Dommages :** Conséquences d'un événement sur les biens, les personnes et les fonctions d'un système. Les dommages peuvent être exprimés en termes humains, financiers, économiques, sociaux ou environnementaux.

**Equipement :** Dispositif physique, mécanique, électrique et/ou électronique servant à rendre plus performantes les activités, les méthodes et les pratiques de l'homme.

**Evénement :** occurrence ou changement d'un ensemble particulier de circonstances

**Exploitant :** Tout chef d'organisme qui met en œuvre une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) ou une installation, ouvrages, travaux et activités soumise à la loi sur l'eau (IOTA) est chargé d'appliquer des prescriptions particulières à cette exploitation. Il est alors appelé « exploitant » de cette installation et est responsable de l'utilisation, de l'entretien et du maintien en conformité de l'installation.

**Impact environnemental :** Tout changement de l'environnement, qu'il soit favorable ou non, résultant en partie ou entièrement des aspects environnementaux d'une organisation.

**Incident :** Événement provoquant un accident ou risquant d'entraîner un accident.

**Installations classées :** Notion du droit de l'environnement. Installations industrielles soumises à un régime spécial d'autorisation ou de déclaration. Le préfet est l'autorité compétente pour délivrer, refuser ou retirer une autorisation.

**Intervention :** Ensemble des dispositions ou des mesures prises ou prévues à tous les stades de l'activité dans l'entreprise, lorsque le danger se sera concrétisé. Nota : souvent le terme de «

prévention » regroupe les trois notions de « prévention », « protection » et « intervention ». Le contexte du document permet, en général, de lever une éventuelle ambiguïté.

**Loi :** Règle écrite et générale votée selon la procédure législative par le parlement .La loi peut être adoptée à l'initiative du parlement ou du gouvernement

**Maîtrise des risques :** Formule appartenant au vocabulaire de la fiabilité et de la sûreté de fonctionnement tendant à signifier l'excellence des démarches engagées. Plan d'urgence : Document identifiant les moyens humains et matériels ainsi que les responsabilités en matière d'intervention en cas de sinistre.

**Prévention :** Ensemble des dispositions ou des mesures prises ou prévues à tous les stades de l'activité dans l'entreprise, en vue de diminuer la concrétisation des dangers. Protection : Ensemble des dispositions ou des mesures prises ou prévues à tous les stades de l'activité dans l'entreprise, en vue d'éviter ou de diminuer les dommages induits par la concrétisation des dangers.

**Santé :** Dans le cadre du travail, indique non seulement l'absence de maladie ou d'infirmité, mais inclut également les éléments physiques et mentaux affectant la santé qui sont directement liés à la sécurité et à l'hygiène au travail

**Sécurité :** Réduction d'un risque à un niveau acceptable

**Site :** Toute entité opérationnelle, sites administratifs, centre de formation, unîtes de maintenance.

. **Urgence :** Toute situation ayant le potentiel de porter préjudice aux personnes, a l'environnement ou aux équipements, et pouvant nécessiter l'évacuation des installations ou des sites avoisinants

**Introduction générale……..01**

**Problématique……02**

**GLOSSAIRE……03**

**Chapitre I : Plans Internes d'Intervention « PII » : Etat de l'art**

**I.1. Introduction.....11**

**I.2. Degré de gravité des événements..... 12**

**I.3. Processus de gestion des urgences et des crises.....13**

**I.3.1. Prévention ……14**

**I.3.2. Préparation .....15**

**I.3.2.1. Développement des plans de réponse à l'urgence .....16**

**I.3.3. Intervention ..... 17**

**I.3.4. Rétablissement .....18**

**I.4. Stratégie de réponse aux urgences et aux crises.....19**

**I.4.1. Plan Interne d'Intervention (PII).....20**

**I.4.2. Missions prise en compte dans les PII .....21**

**I.4.2.1. Activation du PII.....22**

**I.4.2.2. Direction des opérations internes.....23**

**I.4.2.3. Commandement opérationnel .....24**

**I.4.2.4. Intervention.....25**

**I.4.3. Approches d'évaluation de la performance des PII.....26**

**I.4.3.1. Évaluation des PII par le retour d'expérience .....27**

**I.4.3.2. Évaluation des PII par l'audit .....28**

**I.4.3.3. Évaluation des PII par le modèle FIS.....28**

**I.5. Conclusion .....29**

# Chapitre II : Réseaux de Petri

**II.1. Introduction .....30**

**II.2. Réseaux de Petri.....31**

**II.2.1. Structures des réseaux de Petri..... 32**

**II.2.1.1. Structure statique.....33**

**II.2.1.2. Structures dynamique.....34**

**II.2.2. Evolution d'un réseau de Petri..... 35**

**II.2.3. Extensions des réseaux de Petri.....36**

**II.2.4. Simulation de Monte Carlo .....37**

**II.2.5. Réseaux de Petri et logiciel MOCA-RP (SatoDev).....38**

**II.2.5.1. Lois de transition.....39**

**II.2.5.2. Syntaxe des expressions et messages.....40**

**II.3. Démarche structurée de modélisation des SC au moyen des RdP .....46**

**II.3.1. Couche structurelle et les modules assoc.....47**

**II.3.2. Couche opérationnelle et les modules associ.....48**

**II.3.3. Couche d'évaluation .....49**

**II.4. Propagation de l'incertitude dans l'évaluation de la performance des SC.....50**

**II.4.1. Identification des sources d'incertitude .....51**

**II.4.2. Manipulation de l'incertitude par la méthode de simulation de Mon.....52**

**II.5. Conclusion ……..53**

## *chapitre III : la gestion des urgences……...54*

***Section 1 : classement des accidents selon la gravité des événements***

***I. Degré de gravité des événements .....55***

***I.1. Niveau 1 : Incident .....55***

***I.2. Niveau 2 : Urgence .....55***

***I.3. Niveau 3 : Crise ..... 55***

***Section 2 : Processus de gestion des urgences et des crises ..... 56***

***II.1.Prévention ..... 56***

***4II.2.Préparation ..... 57***

***II.3.Intervention ..... 57***

***II.4. Rétablissement ..... 57***

***Section 3 : Stratégie de réponse aux urgences et aux crises ..... 60***

*III.1.Niveau 1 (Plan Interne d'Intervention « PII ») .....62*

*III.2.Niveau 2 (Plan d'Aide Mutuel « PAM ») .....63*

*III.3.Niveau 3 (Plan de Gestion de Crise, ORSEC) .....64*

# Chapitre 4 : Le canevas .....65

**Section 1 : Composition du PII .....65**

**I.1.LA PREMIER PARTIE : .....65**

**I.1.1 Diffusion du PII : .....65**

**I.1.2 Mise à jour : .....65**

**I.1.3 Présentation générale de l'établissement .....66**

**I.2 Deuxièmes partie : .....66**

**I.2.1 Alerte et alarme : .....66**

**I.2.2 Procédure d'alarme et d'alerte des personnels de l'établissement ....67**

**I.2.3 Procédure d'alerte des services publics de secours .....67**

**I.2.4 Procédure d'alerte des établissements signataires d'une convention d'aide ….67**

**mutuelle, et des établissements voisins .....67**

**I.2.5 Procédure d'information des autorités locales .....68**

**I.3 Troisième partie .....68**

**I.3.1 Situation géographique : .....68**

**I.4 Quatrième partie .....69**

**I.4.1Évaluation des risques : .....69**

**II.4.1.1 les scénarios retenus .....70**

**I.4.1.2 Évaluation des risques de chaque scénario retenu .....70**

- **Conclusion générale……..71**

# *Chapitre1*

# Plans Internes

# d’Intervention « PII »

*Chapitre1*

# Plans Internes d'Intervention « PII »

# Etat de l'art

## I.1. Introduction

Les industriels visent à réduire la probabilité de la survenance de situations d'urgence pendant le déroulement de leurs opérations, mais reconnaît toutefois que de telles situations peuvent se produire et qu'il est indispensable de mettre en place des plans efficaces pour faire face à de telles urgences, qui sont en même temps conformes à la loi et complètement opérationnels. En raison de l'extrême importance de ces plans, nous sommes intéressés dans le cadre de ce mémoire à l'évaluation de leurs performance et les mettre aux plus hauts niveaux d'efficacité afin de réduire ou de limiter les conséquences des urgences et des crises ou, dans certains cas de les empêcher de se produire. L'objectif de ce premier chapitre est de déterminer l'état de l'art des Plans Internes d'Intervention, dans un premier temps nous présenterons le degré de gravité des événements. Dans un second temps nous décrirons les étapes générales du processus de gestion des urgences et des crises. Afin de positionner notre contexte de mémoire et nos objectifs de travail, nous aborderons dans un troisième temps la stratégie de réponse aux urgences et aux crises et nous focaliserons sur les PII et les approches existantes en termes d'évaluation de leurs performances et les limites de ces approches. Ceci va nous permettre, de mettre en évidence notre problématique et de définir notre approche de travail.

## I.2. Degré de gravité des événements

Selon [Lagadec, 2000; OCDE, 1992], un accident industriel est un événement tel qu'une émission de matière toxique, un incendie ou une explosion résultant de développements incontrôlés d'une perte de confinement survenus dans une activité industrielle chimique et/ou pétrochimique qui engendre un danger grave, immédiat ou ultérieur, pour l'homme tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'établissement et dans lequel une ou plusieurs substances dangereuses sont impliquées.

Une échelle de gravité des accidents est définie, elle classe les accidents en trois niveaux selon une graduation de la gravité du phénomène, Incident, Urgence et Crise et à chaque niveau correspond une structure de gestion plus ou moins complexe qui est développée dans des plans internes ou externes d'intervention [DCSSE, 2007]:

**Niveau 1 :** Incident Selon [Perrow, 1999; Perilhon, 2002; DCSSE, 2007], un Incident se définit comme «toute situation résultante d'un événement non souhaité n'ayant qu'un impact faible envers les personnes, l'environnement et l'installation».

**Niveau 2 :** Urgence Selon [DCSSE, 2007; Cédrick, 2011], une Urgence se définit comme «toute situation résultante d'un événement non souhaité ayant un impact grave envers les personnes, l'environnement et l'installation et nécessitant la coordination de différents intervenants pour faire disparaître la menace ou de limiter les conséquences néfastes».

**Niveau 3 :** Crise Selon [Roux-Dufort, 2003; DCSSE, 2007; Dewil, 2010], une Crise se définit comme «toute situation résultante d'un événement rare et brutal provoquant une rupture et un déséquilibre entre besoins et moyens et ayant un impact catastrophique envers les personnes, l'environnement et l'installation et sur la réputation et les capacités professionnelles des établissements »

De manière à faire face aux urgences et aux crises, diverses actions sont mises en œuvre. Ces actions sont organisées en quatre phases, qui font l'objet du paragraphe suivant

## *I.3. Processus de gestion des urgences et des crises*

La gestion des urgences et des crises est un processus continu, dynamique, proactif, réactif et réflectif, qui s'articule autour de quatre phases bien identifiées, avant, pendant et après la crise. Ces quatre phases sont illustrées sur la figure I.1 et sont:

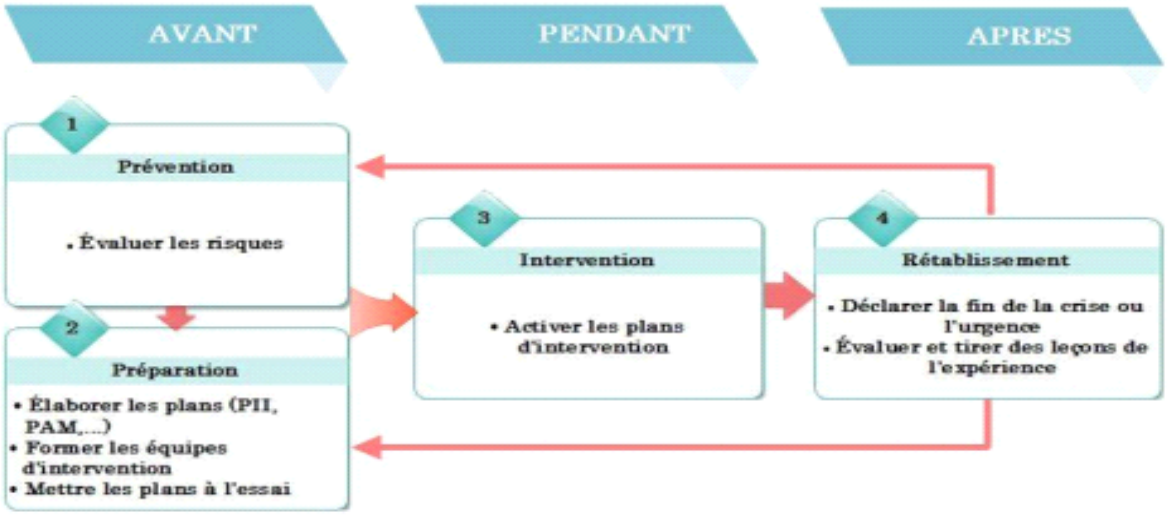



Figure I.1– Processus de gestion des urgences et des crises
[adapté depuis DCSSE, 2007]

### I.3.1. Prévention

La prévention est la phase initiale du processus de gestion des urgences et des crises et doit être mise en place avant la survenue d'une crise. Elle a pour objectif d'amener le risque de crise à un seuil acceptable et, quand cela est possible, d'éviter que la crise ne se produise effectivement

[Kaddoussi, 2012]. Elle s'agit d'actions continues visant à réduire ou éliminer le risque pour les personnes, les biens et l'environnement sur le long-terme et elle regroupe les activités

Proactives, mises en place par les organisations pour analyser et évaluer les niveaux de risque et de menace d'un territoire. Sur la base de ces études, des scenarios sur les accidents et crises potentiels sont établis afin de mettre en place des mesures de prévention des risques

## I.3.2. Préparation

Ce terme désigne les actions prises pour se préparer à intervenir efficacement lors d'une crise ou d'une urgence et à atténuer leur impact sur les populations vulnérables. Elles consistent notamment à développer des différents types de plans de réponse à l'urgence et les mettre à l'essai. Il s'agit par exemple des plans internes d'intervention « PII », d'assistance mutuelle (PAM), d'intervention médicale (PIM) ou de sûreté (terrorisme et autres actes de malveillance).

Sur la base des analyses de risques, les organisations vont alors planifier les ressources humaines et matérielles permettant de répondre aux scenarios établis, déterminer les moyens de communication, définir un réseau de structures de réponse supportant la coordination des acteurs, et pour cela tout un ensemble de plans est rédigé afin d'aider les décideurs au moment venu. Ils contiennent les différents scenarios de crises, des annuaires recensant les divers acteurs, la composition des cellules de crise, les rôles et les objectifs de chacun

Cette phase de planification est également l'occasion de préparer les organisations, au travers des exercices de simulation et les formations des équipes d'intervention, afin d'assurer la disponibilité, la rapidité de mobilisation et de déploiement des ressources nécessaires pour gérer les urgences potentielles, définies en amont dans les scenarios de risques en appliquant des plans exposés précédemment.

Le retour d'expérience à partir des divers plans de réponse à l'urgence a permis de mettre en évidence des principes et méthodes à mettre en œuvre afin de faciliter le développement des plans internes ou externes d'intervention. Ces principes et méthodes sont résumés en trois approches [FEMA, 2009]:

**Planification basée sur des scénarios :** Selon cette approche, le comité de planification met en place un scénario de base pour chaque risque. Un scénario est une description plus ou moins explicite de l'évolution anticipée de la survenue d'un aléa naturel et/ou technologique. Ensuite, une analyse effectuée sur ce scénario permet de développer les hypothèses principales du plan et de définir les actions globales et spécifiques à mettre en œuvre.

**Planification basée sur les fonctions opérationnelles :** Cette approche est également connue comme planification fonctionnelle. Elle permet d'identifier les tâches courantes à mettre en œuvre lors d'une situation d'urgence. Selon ce type de planification, le comité de planification définit les fonctions à effectuer et une combinaison d'autorités compétentes à qui la responsabilité de chaque tâche est attribuée.

**Planification basée sur les capacités opérationnelles :** Cette approche examine la capacité de l'organisation territoriale à effectuer une action. Le comité de planification se pose des questions sur l'agrégation des personnels, de leurs formations, des plans de réponse à l'urgence, de l'organisation, du commandement et de la direction, des équipements et des infrastructures disponibles, et de leur capacité pour la mise en œuvre d'une action. Cette méthode est souvent vue comme une combinaison des deux approches ci-dessus.

En réalité, une méthode hybride de planification est utilisée. Cette méthode constitue une combinaison de plusieurs aspects des trois approches précédentes. L'utilisation de la méthode hybride permet de « traduire » les risques identifiés dans une analyse des risques effectuée au préalable (par exemple, dans le cadre des risques technologiques, les études de dangers des installations industrielles) en des scénarios d'accidents. Ces scénarios sont ensuite utilisés afin d'identifier les besoins opérationnels qui risquent d'être créés en cas de survenue d'un aléa naturel et/ou technologique. Ces besoins opérationnels constituent les objectifs à atteindre. Cette procédure conduit à un plan qui décrit les rôles, les interactions et les responsabilités des différents acteurs, ainsi que le séquencement des actions à effecteur. La méthode hybride de planification permet par conséquent d'identifier les capacités d'un territoire en termes de gestion de situation d'urgence ; tout en étant basée sur une approche intégrale [Karagiannis, 2010].

### 1.3.2.1. Développement des plans de réponse à l'urgence

La réalisation d'un plan de réponse à l'urgence est souvent conduite comme un projet de grande ampleur. Plusieurs guides à l'attention des comités de planification ont été édités par des autorités nationales de plusieurs pays [DDSC, 1985; FEMA, 1996; U.S. NRT, 2001; FEMA, 2003; EMA, 2004; DDSC 2006 ; DDSC, 2007 ; FEMA, 2009; MIPMEPI et MICL, 2010], mais aussi par des organismes d'envergure nationale ou internationale [Kent, 1994; IFRC, 2007; GESIP, 2001]. Ils préconisent une procédure générale à suivre afin de mettre en place un plan de réponse à l'urgence. Cette méthode de planification comporte de façon générale les étapes suivantes (fig. I.2) :

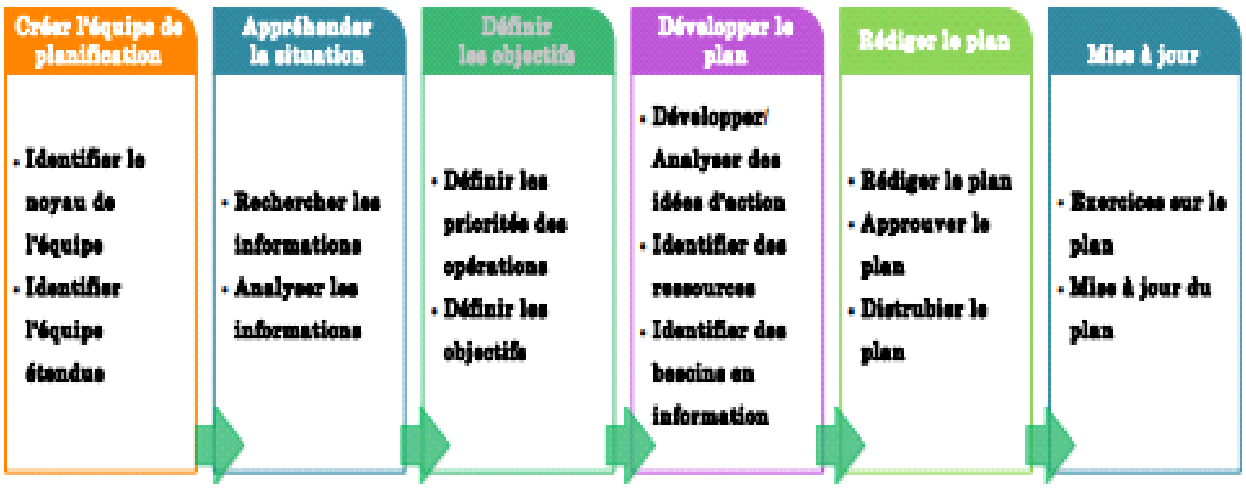



Figure I.2– Procédure de mise en place de plans de réponse à l'urgence [adapté depuis FEMA, 2009]

**a. Créer l'équipe de planification.** Un plan de réponse à l'urgence est développé en équipe. La formation d'une équipe de planification permet aux différents acteurs de bien définir leurs rôles dans le dispositif de gestion des risques.

**b. Appréhender la situation.** Cette étape constitue la partie analytique du processus de résolution de problèmes et de prise de décision. La première partie est la recherche des informations pertinentes sur les risques envisagés. Les membres du comité de planification

fournissent les premiers renseignements dans cette étape. les études de danger constituent la source d'informations indispensable pour le développement du plan. La deuxième partie est l'analyse des informations, afin de produire les faits et hypothèses qui seront utilisées afin de définir les besoins opérationnels.

**c. Définir les objectifs.** En utilisant les informations disponibles à partir de l'étape précédente, des scénarios d'accidents sont développés. Le développement des scénarios permet de définir les besoins opérationnels qui déterminent les actions à effectuer et les ressources nécessaires pour ceci. Les opérations de gestion d'une catastrophe ont trois objectifs principaux : sauver et protéger les personnes, protéger les biens, et protéger l'environnement. La protection de la vie humaine est la priorité principale des opérations d'urgence après toute catastrophe. Pour atteindre ces 3 objectifs, des activités opérationnelles conséquentes doivent être entreprises immédiatement après la survenue de l'événement [McEntire, 2005 ; FEMA, 2009]. Les besoins opérationnels qui en résultent sont classés en besoins créés par l'incident et ceux induits par la gestion de l'incident. Les besoins créés par l'incident sont ceux qui résultent directement du phénomène dangereux. Ils se manifestent pendant ou immédiatement après la survenue de l'incident.

**d. Développer le plan**. A ce stade, des solutions potentielles pour atteindre les objectifs définis pendant l'étape précédente sont recherchées. La méthode hybride de planification est utilisée pour illustrer l'évolution du scénario à travers le temps et identifier des points de décision critiques, les tâches opérationnelles, les ressources nécessaires pour les accomplir et les besoins en information.

***e. Rédiger et approuver le plan***. Une fois l'idée opérationnelle mise en place, les résultats du travail sont transformés en un plan écrit. Le document doit être succinct et simple, afin d'être facilement appréhendé par tous les acteurs impliqués. Un document est diffusé aux organisations ayant des responsabilités dans la mise en œuvre du plan afin d'avoir leur retour et approbation. Une fois les commentaires reçus, le document final est arrêté par les Elus ou le représentant de l'Etat, selon les modalités réglementaires. Des copies du document sont diffusées aux acteurs concernés, et une liste des copies est maintenue afin d'assurer la diffusion des mises à jour.

**f. Exécuter et mettre à jour le plan.** Outre la mise en œuvre du plan en cas d'accident réel, les exercices de simulation permettent aussi d'évaluer l'efficacité du plan. De plus, ils sont un moyen

de formation des acteurs en gestion de crise et aux modalités du plan, mais permettent aussi d'identifier les défaillances dans la mise en œuvre du plan et d'arriver aux modifications nécessaires.

Outre les modifications grâce au retour d'expérience ( rapport des exercices de simulation et des accidents réels), des mises à jour du plan sont également nécessaires suite à des changements importants de la situation, ou lorsque la réglementation en vigueur l'impose.

### I.3.3. Intervention

La phase de la réponse opérationnelle commence par l'activation des plans de réponse à l'urgence suivant la survenue d'un événement dangereux. Elle englobe toutes les actions effectuées (intervention, sauvetage et évacuation) afin de s'occuper des conséquences d'une crise ou d'une urgence, mettre les personnes en sécurité, protéger les biens et limiter les effets de l'événement sur l'environnement. Cette réponse revêt différentes formes en fonction de la localité, de la durée et de la gravité des conséquences.

### I.3.4. Rétablissement

Le retour à la normale est mise en œuvre progressivement après la déclaration de la fin de l'urgence ou de la crise, par minimiser leur effets, limiter les impacts sur l'environnement et la population locale, évaluer et tirer des leçons de l'expérience. À plus long terme, l'objectif est de ramener les systèmes à la normale, qu'il s'agisse d'environnement, d'économie, de la reconstruction des établissements ou autres.

La gestion des situations d'urgence et de crise dans le secteur industriel en Algérie repose sur de multiples acteurs ayant des missions différentes bien identifiées dans des plans internes ou externes d'intervention. La partie suivante se focalise sur la description de la stratégie de réponse à l'urgence mise en place lors des situations d'urgence et/ou de crise et plus particulièrement sur les plans internes d'intervention « PII ».

## I.4. Stratégie de réponse aux urgences et aux crises:

Le système de gestion des situations d'urgence et de crise, appelé Incident Command System (ICS) permet d'améliorer la coordination entre les différentes structures concernées et de

mobiliser rapidement les moyens humains et matériels nécessaires aux interventions. Il définit également les rôles et responsabilités pour chaque niveau de l'organisation.

Ce système de Commandement de l'Incident se déploie sur trois niveaux de gestion en fonction du degré de gravité de l'incident [DCSSE, 2007] (Fig. I.3) :

**Niveau 1 (Plan Interne d'Intervention « PII »):** il a pour fonctions essentielles le confinement de l'incident et la préservation de la sécurité du personnel et l'environnement. Il est contrôlé par le Poste de Direction des Opérations Internes Locales et le Poste de Commande Opérationnel au niveau du site sinistré.

**Niveau 2 (Plan d'Aide Mutuel « PAM »):** il a pour fonctions de minimiser l'impact de l'incident au niveau régional et d'assurer la coordination de l'opération au niveau local en liaison avec les autres sites à proximité de l'incident. Il est contrôlé par le Poste de Commande Tactique (Direction des Opérations Internes Régionales).

**Niveau 3 (Plan de Gestion de Crise, ORSEC):** il a pour fonctions la gestion globale de tous les incidents, la communication avec les parties prenantes concernées et le suivi des activités et engagements commerciaux et autres en situations d'urgences et de crises. Il est contrôlé par le Poste de Commande Stratégique au niveau central (Direction des Opérations Internes Nationales).

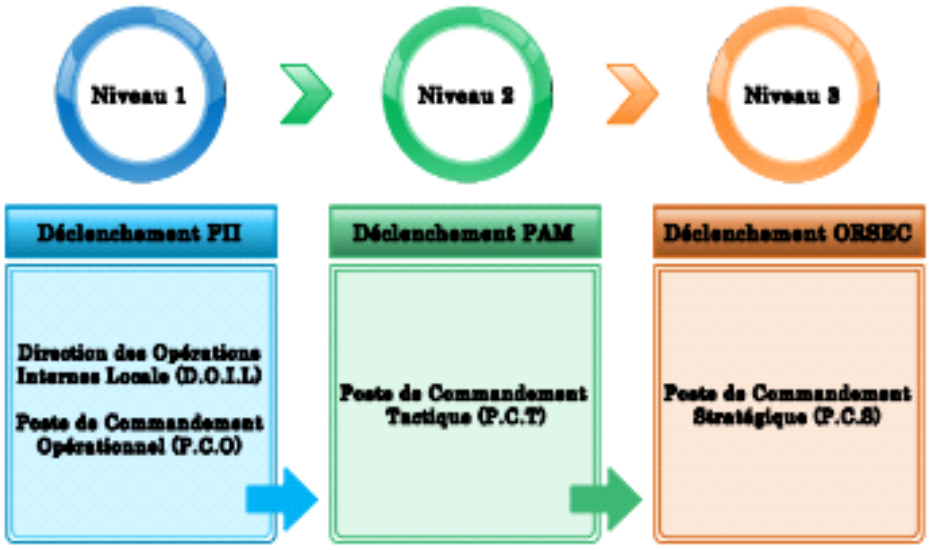



Figure I.3– Chaine générale de Commandement de l'Incident « ICS »

### I.4.1. Plan Interne d'Intervention « PII »

La réglementation de plusieurs pays impose la mise en place des plans de réponse à l'urgence afin d'assurer la capacité de réaction face aux accidents industriels majeurs [Karagiannis, 2010], dont la législation algérienne impose le développement et la mise en place du Plan Interne d'Intervention « PII ». Ce dernier a été élaboré conformément au Décret exécutif N° 09-335 du au 20 octobre 2009 [JORADP, 2009]; fixant les modalités d'élaboration et de mise en œuvre des plans internes d'intervention par les exploitants des installations industrielles.

Le PII est établi pour définir l'organisation des secours et des interventions en cas de sinistre à l'intérieur du site. Il vise à protéger le personnel, la population et l'environnement immédiat et décrit les mesures à prendre pour protéger le personnel, remettre en sûreté les installations et éviter que la catastrophe ne prenne une plus grande ampleur.

Le PII est établi sur la base de l'analyse de risques, il définit les conditions de gestion de l'accident et de ses conséquences, il décrit en fonction des scénarios d'accidents majeurs, l'organisation de l'alerte, des secours et de l'intervention. Il comporte également les dispositions à mettre en œuvre pour informer les services de l'État et les médias. Ce plan décrit ainsi la gestion

de l'intervention dans le cas où un scénario d'accident identifié dans l'analyse des risques comme scénario critique se produit.

Dans le PII sont décrits pour chaque scénario la stratégie de l'intervention, les premières interventions, le déroulement de l'attaque et les moyens nécessaires à chaque phase de l'intervention. Les risques d'escalade du sinistre sont identifiés, la conduite à tenir et les mesures de précautions à respecter sont signalées.

## I.4.2. Missions prises en compte dans les PII

Le PII définit une organisation de secours en 3 niveaux (les équipes d'interventions, un Poste de Commandement Opérationnel, un Poste de Direction des Opérations Internes) mise en place en interne de l'établissement (voir fig I.4), l'interface avec les autres plans (PAM, ORSEC, Crise… .) et également les différents tiers impliqués dans l'accident. Il précise la structure de cette organisation, le rôle exact de chacun des intervenants et les liens hiérarchiques entre les différentes entités mobilisées.

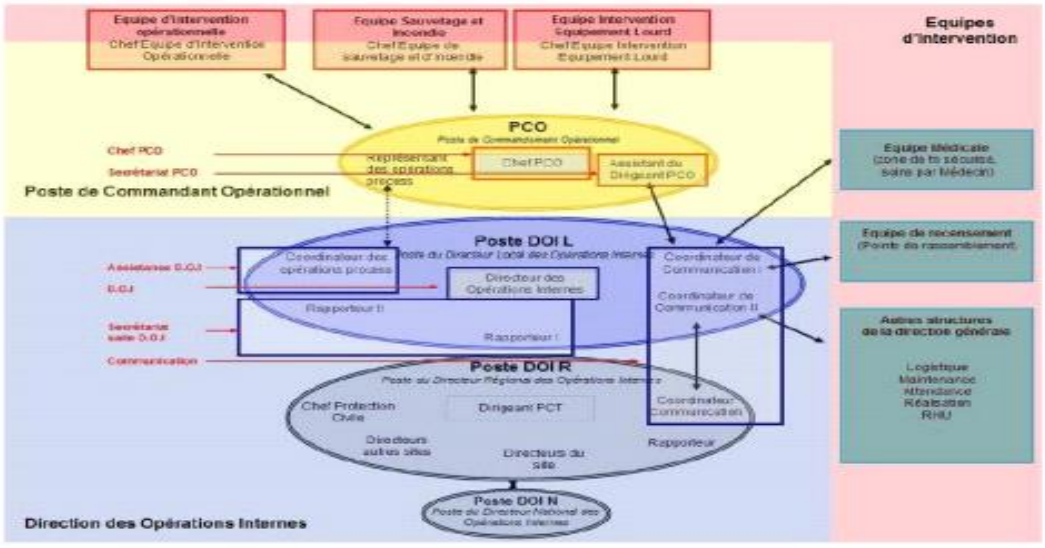



Figure I.4–Schéma général d'organisation [DNV, 2011]

Les principales missions prises en compte dans le cadre des Plans Interne d'Intervention sont :

### I.4.2.1. Activation du PII

L'alerte est la fonction la plus importante, car elle assure le déclenchement du PII. Ce dernier définit la chaine d'alerte qui illustre la logique employée sur le site dans l'organisation des communications et la mobilisation des acteurs impliqués. Cette chaine commence par la détection d'un incident par des moyens automatiques ou par un témoin. Après qu'un incident est détecté, l'alerte est répercutée à tous les acteurs du PII qui sont ainsi mobilisés. Enfin, lorsque la situation est sous contrôle, la fin de l'incident est déclarée par le niveau hiérarchique approprié (Voir fig I.5) [Karagiannis, 2010; DNV, 2011].

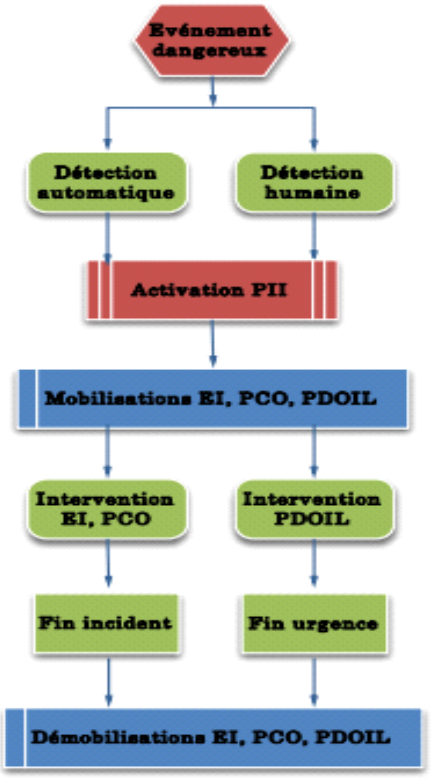



Figure I.5– Plan d'alerte, schéma de principe [adapté depuis DNV, 2011]

### I.4.2.2. Direction des opérations internes

La mission de direction des opérations internes locale consiste en la réponse à l'urgence par la prise de toutes les dispositions qui s'imposent pour confiner l'incident, la supervision de l'ensemble des actions de communication (personnel interne, autorité, média et famille), la validation de la stratégie d'intervention, l'organisation des secours, le contrôle et l'information des autorités et administrations concernées de l'évolution possible de l'événement, recueillir les informations et la coordination avec les différents acteurs d'intervention. Le Poste de Direction des Opérations Internes Local dirige, oriente et coordonne la gestion de l'incident sur le site pendant toute sa durée.

### I.4.2.3. Commandement opérationnel

La mission du commandement opérationnel consiste à commander l'intervention sur site en ayant une vision globale des opérations en cours et des risques d'effets domino ou de sur-accidents. Le Poste de Commandement Opérationnel coordonne le travail d'analyse, d'anticipation et d'application, recueillir les informations sur la situation et l'évolution du sinistre et de l'intervention, élabore les tactiques d'intervention, applique les décisions du DOI, s'assure de la bonne circulation de l'information, dirige et coordonne les équipes d'intervention présentes sur le site.

### I.4.2.4. Intervention

La mission d'intervention est assurée par les équipes d'intervention (incendie, opérationnel, …) présentées sur le site. Les équipes d'intervention incendie appliquent le tactique d'intervention après validation par D.O.I, assurent la lutte de première intervention, le sauvetage, les premiers soins et l'évacuation des blessés, la protection des installations voisines, la définition des moyens nécessaire à mettre en œuvre et la prévision du temps nécessaire pour déployer ces moyens et pour ce dernier, une courbe de montée en puissance est utilisée à cet effet [GESIP, 2000]. Les équipes d'intervention opérationnelle consiste à assurer le contrôle du procédé. Elle a pour objectifs essentiels d'éviter un suraccident ou un effet domino par la réalisation des opérations de sectionnement des zones sinistrées concernées, déviations des flux, d'arrêts potentiels des installations… etc.

## I.4.3. Approches d'évaluation de la performance des PII

Il existe trois approches d'évaluation de la performance des Plans Internes d'Intervention à savoir :

### I.4.3.1. Évaluation des PII par le retour d'expérience

Le retour d'expérience est important pour améliorer les performances en matière de la réponse à l'urgence dans les activités industrielles. Et dans le but d'évaluer l'efficacité globale des mesures prévues dans le PII, les exercices de simulation s'avèrent des outils indispensables.

Effectivement, la mise en œuvre simulée du plan sera l'occasion pour les « participants de mettre en pratique les apprentissages théoriques, de se familiariser avec leurs rôles et responsabilités

en situation d'urgence et de valider les différentes procédures établies dans le PII » [CRAIM, 2007].

La législation algérienne impose la réalisation d'au moins deux exercices de simulation PII par an (décret 09-335, article 15) [JORADP, 2009]. Ces exercices sont organisés pour s'assurer du bon fonctionnement du PII et des équipes d'interventions. La simulation du déploiement du PII facilitera donc l'évaluation des ressources prévues (humaines, matérielles). Par ailleurs, la mise en pratique du plan favorise le travail d'équipe et la communication entre les divers intervenants. En somme, les exercices de simulation servent en quelque sorte de complément à la formation des intervenants et, de ce fait, contribuent grandement à l'amélioration de la capacité de réponse en cas de situation d'urgences [Cédrick, 2011].

L'amélioration des PII par le retour d'expérience est basée en général sur les rapports qui suivent les exercices de simulation et les incidents nécessitant l'activation du PII. Bien que les accidents réels soient le seul vrai test du plan, les exercices de simulation peuvent aussi évaluer une partie ou la totalité du PII [Karagiannis, 2010]. L'ensemble des actions effectuées ont été supervisées pour en analyser, en fin de manœuvre, et répertorier les causes des non-conformités éventuelles. Les rapports comportent un narratif succinct de l'opération, accompagné d'un exposé sur les éléments de l'action qui ont bien ou mal fonctionné et des propositions d'amélioration. Ces informations sont ensuite utilisées par la hiérarchie afin de faire évoluer la doctrine, les méthodes et les techniques opérationnelles [Karagiannis et al. 2010].

Le retour d'expérience peut mettre en évidence des aspects du plan qui sont plus ou moins efficaces ou qui nécessiteraient des modifications. Une analyse approfondie peut même révéler quelles modifications sont nécessaires. Le processus du retour d'expérience identifie des défaillances déjà survenues mais ne permet pas une analyse exhaustive des PII [Jackson, 2008 ; Lagarde, 2007].Plusieurs auteurs ont déjà souligné le besoin d'une analyse systémique de ces plans [Alexander, 2002 ; Alexander, 2005 ; Mayer, 2005 ; Kano et Furuta, 2006 ; Jackson, 2008]. En revanche, peu de travaux se sont vraiment intéressés à développer une méthodologie pour l'analyse des PII [Ramsay, 1999 ; Larken et al. 2001; Karagiannis et al. 2010]

### I.4.3.2. Évaluation des PII par l'audit

L'approche d'évaluation des PII par l'audit consiste à évaluer directement la performance du plan en utilisant des questions avec l'aide des facteurs identifiés par un grand nombre d'expert [Larken el al., 2001]. La performance est évaluée par des questions ciblées sur la qualité du plan, sur la prise en compte de tous les indicateurs définis dans la méthode, ainsi que sur la capacité du plan à répondre aux exigences réglementaires. Des scores sont attribués aux réponses à ces questions, et un score final est produit. Malgré son caractère pragmatique et pertinent, cette méthode manque de structure. L'identification des facteurs à évaluer est basée sur l'expertise et ne prend pas en compte la structure des PII. De plus, l'agrégation des scores est basée sur une somme des points obtenus par les différentes questions et ne prend pas en compte l'importance relative des différents aspects du plan [Karagiannis, 2010].

### I.4.3.3. Évaluation des PII Par le modèle FIS

L'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne [Karagiannis, 2010] a développé une méthode, pour l'analyse de la robustesse des PII en utilisant la méthode FIS. Cette recherche a utilisé l'outil informatique (XRisk) développé pour la modélisation structuro-fonctionnel et l'analyse des risques des systèmes complexes. Le modèle a permis de structurer l'analyse et d'identifier les défaillances pouvant se manifester pendant la gestion de crise (voir Figure I.6) [Lachtar, 2012].

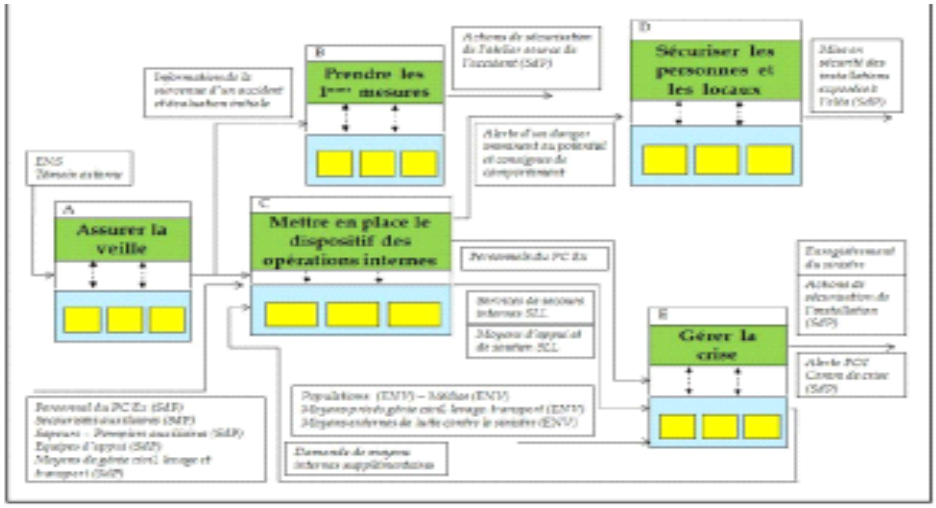



Figure I.6– Modèle structuro-fonctionnel d'un Plan d'Opération Interne [Karagiannis, 2010]

Chaque type de ressources est caractérisé par un ensemble d'attributs (dont des arbres de défaillances) qui permettent de calculer la probabilité de la défaillance des ressources. La probabilité de défaillance des fonctions du modèle est calculée à partir des probabilités de défaillances des ressources associées à travers l'arbre de défaillances de chaque fonction. La gravité de défaillance de chaque fonction est estimée suivant les conséquences maximales de cette défaillance sur le système et son environnement. La combinaison de la probabilité et de la gravité de défaillance de chaque fonction permet d'obtenir sa criticité. La robustesse du PII est exprimée en termes de la criticité de défaillance de celui-ci, qui est obtenue à partir de l'agrégation des criticités de ses fonctions.

Mais, l'agrégation des criticités des fonctions ne prend pas en compte l'importance relative de différentes fonctions du plan et la performance est évalué qualitativement d'où l'importance d'évaluer les PII quantitativement.

## *I.5. Conclusion*

Nous avons consacré ce chapitre à la présentation de l'état de l'art des Plans Internes d'Intervention afin de bien assimiler ce vaste domaine. Après avoir présenté le degré de gravité des événements, les différentes étapes du processus de gestion des urgences et des crises et la stratégie de réponse à l'urgence. Il était question de mettre l'accent sur les approches qui ont été développées pour évaluer la performance des PII en se basant sur des outils génériques qualitatifs tels que : Retour d'expérience REX, audits, approche FIS. Ces derniers présentent certaines limites quant à l'évaluation quantitative de leur performance en l'absence de méthodes d'analyse éprouvées.

Dans ce contexte, les réseaux de Petri (RdP) sont retenus comme outils de modélisation et d'analyse puissants et largement utilisés dans les études de sûreté de fonctionnement des systèmes à événement discret, en identifiant et insérant les indicateurs clé de performance comme données d'entrées nécessaires à la modélisation et à l'évaluation de la performance des systèmes de réponse à l'urgence. Donc, la modélisation de ces derniers au moyen des réseaux de Petri est une motivation majeure de ce travail de recherche. D'où l'objet du chapitre suivant qui présente les réseaux de Petri (RdP) comme outil de modélisation des systèmes complexes.

# *Chapitre2*

# *Réseaux de Petri :*

*Chapitre2*

## *Réseaux de Petri :*

### *Outil d'évaluation de la performance des systèmes complexes*

## *II.1. Introduction*

Les réseaux de Petri et la simulation de Monte Carlo sont aujourd'hui très répandus en sûreté de fonctionnement, mais il n'y a pas de travaux qui les utilisent pour évaluer la performance des systèmes de réponse à l'urgence. Ce chapitre sera consacré à la présentation de la structure des réseaux de Petri, leurs évolutions et extensions, la simulation de Monte Carlo et l'outil MOCA–RP. Il apparaît clairement que la complexité des systèmes à représenter impose de structurer les modèles. Pour cela, nous aborderons une approche de structuration de la modélisation des systèmes complexes au moyen des réseaux de Petri. Finalement, l'identification des sources d'incertitude et leur manipulation par la méthode de simulation de Monte Carlo dans l'évaluation de la performance des systèmes complexes seront étudiées.

## II.2. Réseaux de Petri

Les réseaux de Petri ont été développés en 1962 par Carl Adam Petri [Gu et Bahri, 2002]. Ils sont basés sur la théorie des automates. Plusieurs extensions des réseaux de Petri ont été élaborées pour répondre à la modélisation des problèmes spécifiques. Dans notre cas, leurs avantage est la possibilité d'analyser le comportement des systèmes de réponse à l'urgence. Cette modélisation dynamique permet d'obtenir des mesures en termes de fiabilité.

Les RdP permettaient de représenter une structure statique et une structure dynamique du système, d'associer le temps au modèle, d'intégrer des événements stochastiques, parallèles et asynchrones et de simuler à l'aide de la méthode de Monte Carlo [Mihalache, 2007].

### II.2.1. Structures des réseaux de Petri

Un réseau de Petri est une notation graphique avec une structure mathématique sous-jacente adaptée pour modéliser des systèmes pilotés par les événements (systèmes à événements discrets) [Huang et Liang, 2004] et dans les études de sûreté de fonctionnement des systèmes dynamiques. Il peut être identifié comme un type particulier de graphe bipartite orienté qui contient deux parties statique et dynamique [IEC 61508, 2010; Blume et al., 2007; Hamzi et al, 2013]:

#### *II.2.1.1. Structure statique*

Elle comprend l'ensemble des places, transitions et arcs :

***Places***, représentées graphiquement par des cercles ou des ovales, et peuvent être marquées par une ou plusieurs marques appelées jetons. L'ensemble des places sont des états de composants du système modélisé ;

***Transitions,***

représentées par des rectangles ou des bars et agissent, sous certaines conditions, sur le marquage du réseau. L'ensemble des transitions représente l'ensemble des événements dont l'occurrence provoque la modification de l'état du système. Les délais peuvent être attribués à des transitions (par exemple le temps nécessaire pour effectuer une tâche donnée) ;

***Arcs,***

représentés par des flèches qui lient une place à une transition (arc amont) ou inversement une transition à une place (arc aval). Un poids (entier positif) peut leur être affecté. Par défaut, il est égal à 1. Par exemple, le poids d'un arc amont peut indiquer les ressources nécessaires pour réaliser une action donnée alors que celle d'un arc aval peut indiquer la quantité de la sortie résultant de cette action. Mathématiquement, un réseau de Petri est décrit par (fig. II.1) [Dhouibi, 2005; Muller, 2010] :

$$\mathbf{R = < P1T1\ Pre1\ Post >} \qquad (1)$$

Où :

– P= {p1, p2,…, pi}, un ensemble fini et non vide de places;

– T= {t1, t2,…, tj}, un ensemble fini et non vide de transitions ;

– Pre: P x T → N est l'application d'incidence avant;

– Post: P x T → N est l'application d'incidence arrière.

On utilise également la notation :

$$W = Post - Pre \qquad (2)$$

et W est en général appelée matrice d'incidence du réseau de Petri.

$P = \{p1, p2, p3\}$

$T = \{t1, t2\}$

$$Pre = \begin{Bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

$$Post = \begin{Bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{Bmatrix}$$

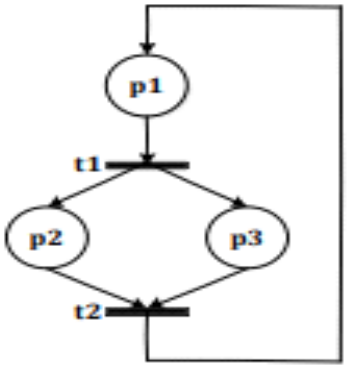



Figure II.1– Représentation mathématique d'un Réseau de Petri

## II.2.1.2. Structure dynamique

Elle représente l'évolution du réseau de Petri et comprend :

**Jetons**, représentés par des petits points solides. L'ensemble des jetons associés aux différentes places constitue le marquage de réseau de Petri et correspond à un état du système modélisé. L'évolution de ce marquage constitue de l'aspect dynamique du système. Un jeton peut, par exemple, représenter la présence ou l'absence d'une ressource;

**Prédicats ou Gardes,** conditions à remplir pour que le délai de la transition puisse démarrer (condition de validation) ;

**Affectations**, messages émis qui permettent la mise à jour des variables quand une transition est tirée. Mathématiquement, un réseau de Petri marqué est le couple (fig II.2) :

$$N = <R1\ M> \qquad (3)$$

Où :

– R est un réseau de Petri

– M est une application de marquage

$$M : P \rightarrow N \qquad (4)$$

M(p) est le nombre de marques (jetons) contenus dans la place p.

$M = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$

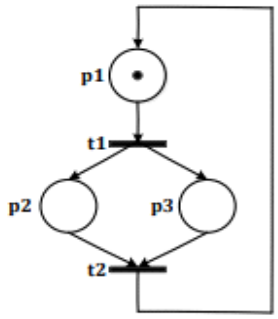



Figure II.2– Représentation mathématique du marquage d'un Réseau de Petri

## II.2.2. Evolution d'un réseau de Petri

D'abord, il est utile de distinguer entre activation et franchissement d'une transition:

Une transition est activée (valide ou sensibilisée) lorsque tous les places amont de la transition doivent posséder au moins le nombre de jetons requis par chaque arc amont (indiqué par son poids) et tous les prédicats doivent être « vrai ».

Une transition est franchie lorsque toutes les conditions sont remplies (c'est à dire qu'elle est valide) et un délai requis est écoulé (durée de l'activation jusqu'à le franchissement). Ce délai peut être déterministe ou stochastique (délai aléatoire, par exemple exponentielle négative). Si aucun délai existent (délai = 0) alors le tir est instantanément.

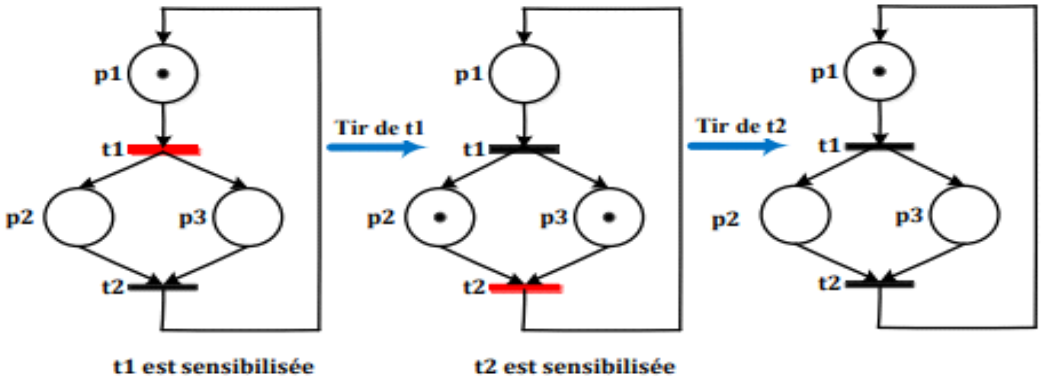
L'évolution du réseau de Petri est obtenue par le franchissement de transitions qui affecte son marquage et change l'état du système, ce franchissement se déroule comme suit:

Les places amont perdent un nombre de jetons égal au poids de l'arc amont.

Places aval acquérir un nombre de jetons égal au poids de l'arc aval.

Affectations sont mises à jour. Mathématiquement, l'évolution du marquage est prédite par un calcul matriciel. Soit S un vecteur M x 1 contenant pour chaque composante j le nombre de tirs de la transition j. Soit M0, le marquage initial. L'évolution du marquage après les tirs des transitions s'exprime (fig II.3) [Muller, 2010] :

$$M = M0 - Pre.S + Post.S \qquad (5)$$




$$M_0=\begin{Bmatrix}1\\0\\0\end{Bmatrix}\text{(le marquage initial)}$$

$$S=\begin{Bmatrix}1\\1\end{Bmatrix}\text{(t1 et t2 sont chacune tirée une fois)}$$

$$M=\begin{Bmatrix}1\\0\\0\end{Bmatrix}-\begin{Bmatrix}1&0\\0&1\\0&1\end{Bmatrix}.\begin{Bmatrix}1\\1\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}0&1\\1&0\\1&0\end{Bmatrix}.\begin{Bmatrix}1\\1\end{Bmatrix}$$

$$M=\begin{Bmatrix}1\\0\\0\end{Bmatrix}\text{(le nouveau marquage après tir de t1 et de t2)}$$

Figure II.3– Représentation mathématique de l'évolution du marquage d'
Réseau de Petri

A partir du marquage initial M0, il est possible de déterminer une séquence de franchissements. Cette séquence est une suite de transitions qui sont franchissables successivement (sans autres franchissements de transitions) [René et Hassane, 1992]. Le

franchissement de ces séquences conduit au passage d'un marquage à un autre, ce qui correspond au passage du système d'un état à un autre [Laronde, 2011].

L'ensemble des marquages accessible à partir d'un marquage initial représente le graphe de marquage de la figure II.4 associé au réseau de Petri de la figure II.1.

$$\begin{pmatrix}1\\0\\0\end{pmatrix} \underset{t2}{\overrightarrow{t1}} \begin{pmatrix}0\\1\\1\end{pmatrix}$$

Figure II.4– Graphe de marquage

Ce graphe de marquage est composé de nœuds qui correspondent aux marquages accessibles, et d'arc correspondant aux franchissements de transitions faisant passer d'un marquage à un autre. Il nous aidera à déterminer la matrice d'incidence Wm×n équivalente au réseau de Petri (m correspond au nombre de places et n au nombre de transitions) qui s'écrit de la manière suivante :

$$W = W^{+} - W^{-} = [w_{ij}] \quad (6)$$

$$\begin{cases} W^{+} = [w_{ij}^{+}] = [Post(p_i, t_j)] \\ W^{-} = [w_{ij}^{-}] = [Pre(p_i, t_j)] \end{cases} \quad (7)$$

En considérant l'exemple de réseau de Petri traité dans la figure II.1, les matrices d'incidences avant et arrière s'écrivent :

$$W^{-} = \begin{pmatrix}1 & 0\\0 & 1\\0 & 1\end{pmatrix} \qquad W^{+} = \begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\\1 & 0\end{pmatrix} \quad (8)$$

La matrice d'incidence W est de la forme :

$$W=\begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

### II.2.3. Extensions des réseaux de Petri

Parmi les extensions des RdP, on peut citer [Laronde, 2011]:

Les réseaux de Petri temporisés sont obtenus à partir des réseaux de Petri classique lorsque des durées sont associées aux places (réseaux de Petri P-temporisés) ou aux transitions (réseaux de Petri T-temporisés).

Les réseaux de Petri stochastiques sont obtenus à partir des réseaux de Petri classiques en associant des durées de franchissement aléatoires aux transitions (en utilisant la loi exponentielle ou la loi de Weibull, par exemple).

Les réseaux de Petri Stochastiques Généralisés (RDPSG) permettent de prendre en compte, en plus de transitions avec des lois exponentielles, d'autres transitions dites immédiates tirées sans délai et qui sont prioritaires par rapport aux transitions à délai aléatoire.

Les réseaux de Petri Stochastiques et Déterministes (RdPSD). Dans ces RdPSD, les délais associés aux transitions temporisées suivent des lois de distribution exponentielle ou autre et certaines transitions sont immédiates.

### II.2.4. Simulation de Monte Carlo

La simulation de MC est un outil numérique basé sur le tirage au sort de nombres aléatoires. La quantité que l'on désire estimer correspond à l'espérance mathématique d'une variable aléatoire, évoluant selon un processus stochastique. L'estimation est obtenue en moyennant les résultats collectés lors d'un grand nombre d'histoires simulées du système. Afin de voir apparaître un événement redouté (rare en générale) un nombre suffisant de fois, on doit faire un grand nombre de simulations, ce qui implique des temps de calcul important [Veach, 1997; Dubi, 2000; Niel et Craye, 2002]. De nombreuses techniques d'accélération de la simulation permettent

de réduire ces temps. Elles sont basées soit sur une diminution de la complexité du modèle, soit sur la réduction du nombre de scénarios à simuler, en favorisant l'apparition des événements rares. Toutefois, ces méthodes ne sont pas toujours faciles à mettre en œuvre, car elles impliquent des hypothèses assez fortes et/ou ne fournissent pas forcement des estimateurs de qualité [Dubi, 2000].

La simulation de MC se prête particulièrement aux études de fiabilité dynamique étant donné le caractère stochastique naturel du problème étudié. Selon [Labeau et al. 2000; Smidts et Devooght, 1992; Marseguerra et al. 1998; Cabarbaye et Laulheret, 2005], cet outil de résolution s'avère peu sensible aux dimensions du problème, ce qui est un avantage précieux. On peut effectuer une simulation de MC à partir d'un grand nombre de modèles comportementaux (automates d'états, réseaux de Petri, arbres de défaillance…) pour la résolution d'un problème de fiabilité prévisionnelle.

### II.2.5. Réseaux de Petri et Logiciel MOCA-RP (SatoDev)

Les réseaux de Petri complexe ne peuvent pas être résolus à l'aide des approches analytiques. D'où le besoin d'une approche de simulation du comportement des systèmes dynamiques complexes. La simulation de MonteCarlo est considérée comme un mécanisme susceptible de sortir des nombres au hasard. Cette approche est très intéressante si elle est couplée avec un outil dont le formalisme permet de représenter le système étudié. C'est l'approche retenue par les concepteurs de MOCA-RP [Chorier, 2007]. Le logiciel MOCA-RP (MOnte CArlo basé sur les Réseaux de Petri) est destiné à la simulation du comportement des systèmes dynamiques complexes dans le but d'obtenir, par un traitement statistique, des résultats concernant leur fiabilité, leur disponibilité, ou leur productivité, ainsi que tout autre paramètre probabiliste. Le modèle du système à étudier est réalisé sous la forme d'un réseau de Petri stochastique interprété qui sert de support à une simulation de Monte Carlo classique.

Pour un paramètre X simulé donné, les statistiques de base permettent de calculer la moyenne (eq.10), la variance (eq.11) et l'intervalle de confiance (eq.12) de l'échantillon (Xi) qui a été simulé en prenant en compte les problèmes de précision de calcul qui sont engendrés par un nombre de simulations toujours plus important:

/n (10)

$$= \qquad (11)$$

$$IC : [X - E.(/) \; / \qquad (12)$$

Ou E=1.6449 pour une confiance=90%

### II.2.5.1. Lois de transition

MOCA-RP gère des lois de transition variées, à chaque transition du réseau de Petri est attachée :

la loi de distribution du délai de tir de cette transition c'est-à-dire le délai qui s'écoule entre l'instant de la validation et l'instant du tir effectif.

la loi de tir de cette transition, c'est-à-dire la manière dont sera tirée la transition

### II.2.5.1.1. Loi de délai

La loi, qui permet de spécifier le délai au bout duquel la transition valide sera tirée, est spécifiée après le mot-clef LOI. Nous listons ici l'ensemble des lois utilisées durant ce mémoire ainsi que leurs paramètres.

Drc est la loi de Dirac de délai ;

Tableau II.1− Loi Dirac et ses caractéristiques [Philippe, 2011]

| | |
|---|---|
| **Densité** | Distribution de DIRAC correspondant à un délai déterministe égal à |
| **Paramètres** | = délai au bout duquel la transition est tirée à partir du moment où elle est devenue valide |
| **Simulation** | d = |

### *II.2.5.1.2. Loi de tir*

La loi de tir permet de spécifier la manière de tirer la transition. Une défaillance peut avoir lieu lorsqu'une ressource est sollicitée pour changer l'état d'attente à un autre état de fonctionnement. La probabilité γ de défaillance à la sollicitation est le nombre de chances de voir cette ressource refuser de fonctionner lorsqu'on la sollicite. La représentation de ce phénomène en réseau de Petri ne respecte pas la règle de franchissement d'une transition de réseau de Petri classique parce que dans le cas de tirage de ce type de transition spécifique à MOCA-RP (Loi de tir à la sollicitation), une transition ayant deux arcs avals, l'un menant vers le changement d'état, l'autre vers un état de panne. Mais, lorsque la transition est tirée, seul un des deux arcs avals transmet un jeton dans sa place avale (l'autre en transmet zéro) et ceci avec une fréquence égale à γ pour la place représentant la défaillance à la sollicitation et (1- γ) pour la place représentant la non-défaillance lors de la sollicitation (fig II.5) [Philippe, 2011; Chorier, 2007]

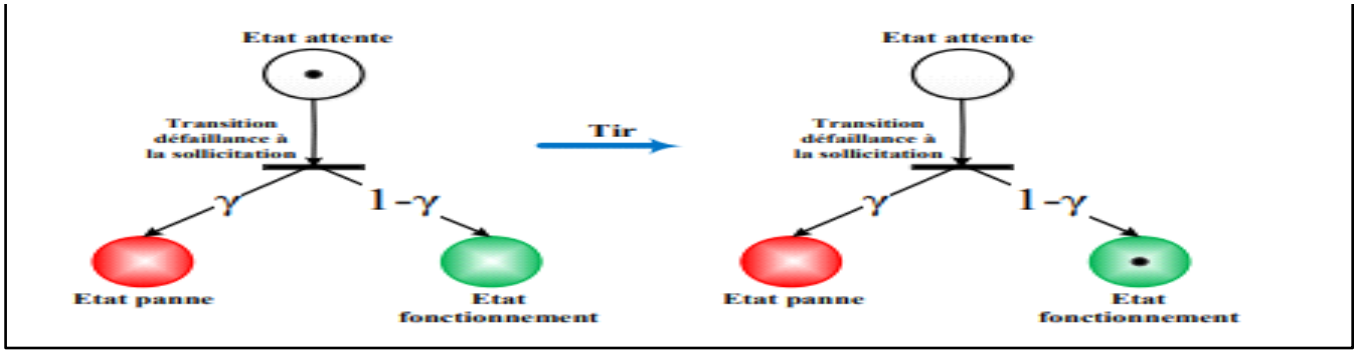



**Figure II.5– Règle de tir de la transition avec loi dite « défaillance à la sollicitation » [Chabot, 1998]**

## II.2.5.2. Syntaxe des expressions et messages

L'ensemble des expressions et messages inclus dans MOCA-RP sont présentées dans les paragraphes suivants:

### II.2.5.2.1. Expressions

La syntaxe des expressions numériques et booléennes pouvant être utilisées pour les gardes, affectations et états statistiques du réseau est donnée comme suit:

Les expressions numériques sont formées à partir des variables et constantes numériques (c.-à-d. entières ou réelles) et des opérateurs +, - (binaire), - (unaire), *, /, #, des parenthèses et de fonctions mathématiques.

Une expression numérique peut être :

Une constante entière ou réelle ;

Une variable entière ou ;

Un nombre entier ou réel ;

#i (où i est un entier > 0) qui est égale au marquage de la place numéro i du réseau ;

Les opérations arithmétiques usuelles e1+e2, e1-e2, e1*e2 et e1/e2 (où e1 et e2 sont deux expressions du même type c'est à dire soit entières, soit réelles) ;

unif(e1, e2) (où e1 et e2 sont deux expressions réelles constantes) est un générateur de nombres aléatoires suivant une distribution uniforme dans l'intervalle [e1, e2];

nlog(m,e) (où m et e sont deux expressions réelles constantes) est un générateur de nombres aléatoires suivant une distribution lognormale centrée en la valeur moyenne m et se trouvant avec une probabilité de 90% dans l'intervalle [m/e, m*e]; Les expressions booléennes formées à partir des variables et constantes booléennes (vrai et faux), des parenthèses et des opérateurs |, ou, &, et, !, non, ==, !=, , <=, >= et @. Une expression booléenne peut être :

Une constante booléenne;

Une variable booléenne;

Une des constantes vrai ou faux ;

e1 | e2, e1 ou e2 (où e1 et e2 sont des expressions booléennes) est le OU logique de e1 et e2 ;

e1 & e2, e1 et e2 (où e1 et e2 sont des expressions booléennes) est le ET logique de e1 et e2

!expr, non expr (où expr est une expression booléenne) est le NON logique de expr ;

les opérateurs d'égalité et d'inégalité usuels e1 == e2, e1 != e2, e1 < e2, e1 > e2, e1 <= e2, e1>= e2 (où e1 et e2 sont deux expressions numériques du même type ; c'est à dire soit entières, soit réelles) ;

@(i) (e1, ..., en) (où i est un entier positif et e1, ..., en sont des expressions booléennes) vaut vrai si au moins i des e1, ..., en valent vrai ;

### II.2.5.2.2. Messages

La syntaxe des messages émis et reçus est donnée.

! Introduit une liste d'affectations de variables (les affectations ont lieu lorsque la transition est franchie) et consistent en une liste de couples (variable, expression) séparés par des virgules;

? Spécifie une liste d'expressions booléennes qui doivent être nécessairement vérifiées pour que la transition soit valide. Ces expressions sont séparées par des virgules.

## II.3. Démarche structurée de modélisation des systèmes complexes au moyen des RdP

Les différents systèmes complexes requiert un travail de modélisation personnalisé afin d'intégrer leurs caractéristiques spécifiques et développer un modèle associé en basant sur la démarche de structuration.

La dissociation du processus représentatif de la dynamique du système est intéressante pour évaluer globalement leur performance. Afin de procéder à cette différentiation, Pérès a fait apparaître le concept de couches de modélisation [Pérès et al. 2007].

Couche structurelle, représentative des moyens : ressources ou acteurs, du système principal et du système de soutien ;

Couche opérationnelle, caractéristique de l'ensemble des activités mises en œuvre par le système et de ses interactions avec le milieu extérieur pendant sa vie utile ;

Couche d'évaluation qui ne traduit pas un aspect physique ou comportemental du système mais elle évalue leur performance.

La décomposition en couches apparaît comme insuffisante. Une décomposition supplémentaire est nécessaire au sein des couches structurelle et opérationnelle. Ceci conduit à introduire la notion de modules ;

La modification de ce dernier peut donc se faire sans remettre en cause le reste du modèle. Le gain en souplesse de modélisation est ainsi très important. Le degré d'intelligibilité du modèle se trouve également renforcé par la modularité puisque le découpage correspond à une articulation logique du comportement du système.

Nous décrivons à la suite les couches structurelle et opérationnelle ainsi que les modules qui leurs sont attachés

### II.3.1. Couche structurelle et les modules associés

La couche structurelle traduit le comportement dysfonctionnel du système global en se limitant à tout ce qui lui est intrinsèque. Elle permet :

D’une part de représenter l’ensemble des ressources ;

D’autre part de déterminer leur état: marche/panne pour des ressources réparables comme les composants du système principal ou disponible/indisponible pour les acteurs et les ressources consommables.

Cette couche met en jeu des paramètres déterministes mais aussi stochastiques puisqu’elle intègre les aspects probabilistes liés à l’occurrence des défaillances. Pour assurer la représentation exhaustive de tous les moyens, cette couche reprend la structure physique du système.

La Couche Structurelle utilise deux classes de modules [Pérès et al. 2007]:

Les Modules Physiques : ils déterminent l’état des composants élémentaires du système principal (attente, marche, panne, etc.).

Les Modules de Synthèse : ils établissent l’état des sous-ensembles, à partir des données de sortie des Modules Physiques.

### II.3.1.1. Modules physiques

Chaque module physique caractérise l’état de fonctionnement du composant élémentaire à partir de trois places : élément en état de marche nominal, en attente de réparation ou en réparation (fig. II.6).

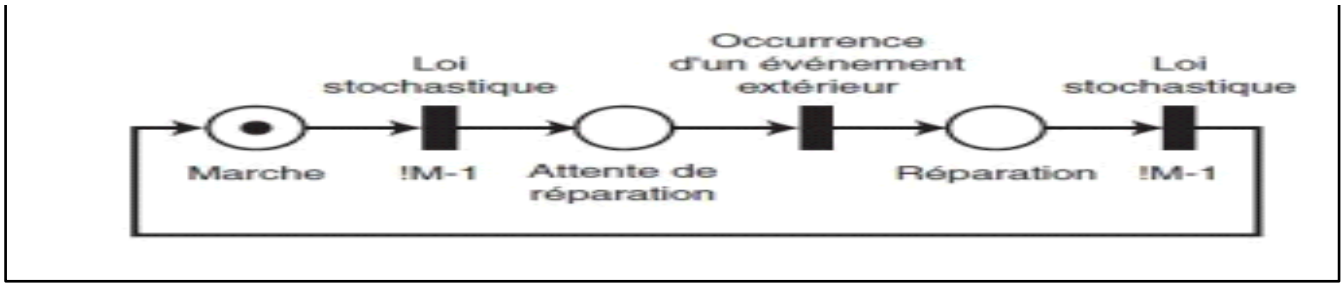



***Figure II.6− Représentation d’un module physique [Pérès et al. 2007***

Le tir de la transition entre les places marche et attente de réparation correspond à l’occurrence d’une défaillance. Cette transition est donc associée à une loi stochastique (distributions exponentielle, Weibull, Normale, …etc.).

Le passage de l'état attente de réparation à l'état réparation se fait lorsque les conditions nécessaires à l'opération de soutien sont toutes réunies. Ces conditions ne sont pas régies par des lois.

La notion de messages émis (! M) et reçus (? M) par les transitions est spécifique au logiciel Moca-RP que nous avons utilisé. Cette astuce de modélisation permet de synchroniser des sous-réseaux indépendants. Les messages reçus participent, lorsqu'ils sont « vrais »à la validation de la transition lorsqu'elle est tirée ; les messages émis le sont dans l'état « vrais ». La symbolique utilisée est telle qu'un message est affecté d'un nombre positif lorsqu'il est vrai et d'un nombre négatif lorsqu'il est faux. L'émission de ces messages et la gestion de ces places sont effectuées dans la couche opérationnelle.

L'ensemble de ces messages renseigne sur l'état des modules physiques. Ces informations sont alors reprises au niveau des modules de synthèse, qui vont maintenant être présentés.

### *II.3.1.2. Modules de synthèse*

Les modules de synthèse permettent de réunir des modules physiques ou de modules de synthèse du niveau inférieur afin de déterminer le fonctionnement global des sous-systèmes.

II n'existe pas de structure de référence pour les modules de synthèse. En effet, la diversité des cas envisageables rend toute généralisation délicate. Nous limitons donc notre propos à la présentation d'un exemple: la modélisation d'une redondance active.

Considérons une redondance active de deux composants représentés chacun par un module physique. Lorsque l'un des deux est défaillant, la fonction assurée par le sous-ensemble qu'il représente reste remplie (sous-ensemble en état de « marche »). Ce n'est que lorsque les deux composants sont en panne, que la perte de la fonction est observée (sous-ensemble en état de « panne »). Le sous-ensemble est donc modélisé par une boucle composée de deux places (Fig. II.7), marche et panne, et de deux transitions. La transition marche vers panne est associée à une loi de dirac de paramètre 0 car le tir de la transition ne dépend pas du temps mais de l'état des deux composants. La condition de franchissement est que les messages 1 et 2 soient faux : ? M-1-

2 (c'est-à-dire panne du composant 1 et panne du composant 2). II y a alors émission du message 3 à faux qui signifie que la fonction n'est plus remplie.

De façon identique, la condition de franchissement de la transition panne vers marche est que le message 1 ou 2 soit vrai : ?M1 ou 2 (c'est-à-dire marche du composant 1 ou marche du composant 2). II y a alors émission du message 3 à vrai signifiant le retour à l'état de marche de la fonction.

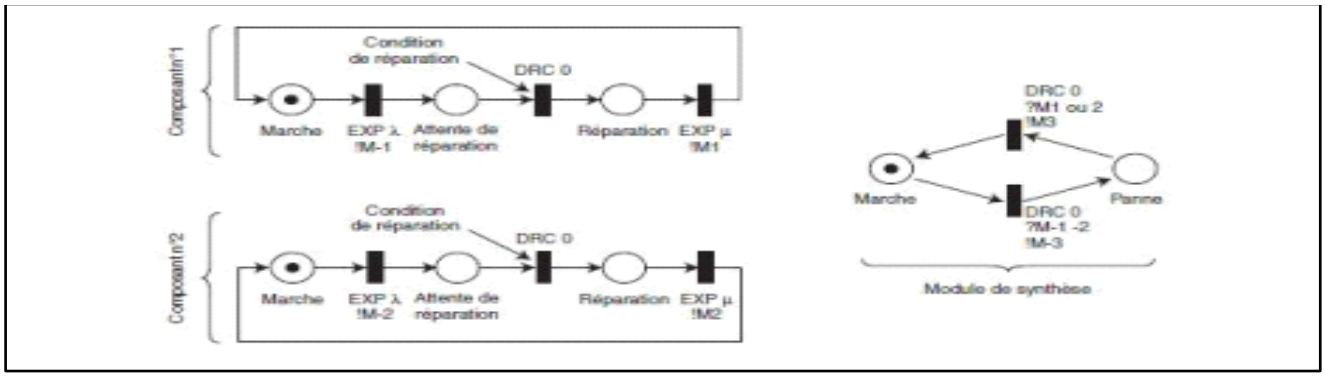



**Figure II.7− Représentation du module de synthèse [Pérès et al. 2007]**

## II.3.2. Couche opérationnelle et les modules associés

La couche opérationnelle traduit en fait le comportement fonctionnel du système global. Elle permet d'une part de représenter exhaustivement l'ensemble des activités, éventuellement regroupées en processus et d'autre part de coordonner ces activités entre elles et d'évaluer les effets de leur réalisation sur le système global.

Cette couche utilise deux classes de modules [Pérès et al., 2007] :

Les modules activités ;

Les modules contextuels.

### II.3.2.1. Modules activités

En préliminaire à toute modélisation, le modélisateur doit établir une liste des activités à représenter et identifier, pour chacune d'elles, les ressources, acteurs ou informations nécessaires à sa réalisation. Ces entrées peuvent venir des modules physiques ou de synthèse de la couche structurelle. À chaque activité, est associé un module dit module d'activité constitué d'un ou plusieurs réseaux de Petri stochastiques. L'objectif est que ces réseaux restent suffisamment simples pour être facilement appréhendables par le modélisateur.

### II.3.2.2. Les modules contextuels

L'utilisation de ce type de modules concerne la prise en compte de phénomènes susceptibles d'affecter le fonctionnement normal du système, en fonction de leur nature, les modules contextuels seront susceptibles de mettre en jeu des modules physiques, de synthèse et d'activités

### . II.3.2.3. Communication entre les couches

Les deux couches Et l'ensemble des modules qui les constituent sont en perpétuelle interaction et doivent échanger des flux de ressources, d'informations et d'actions.

Pour les flux de ressources, ces échanges sont principalement représentés par des flux de jetons grâce à l'utilisation de places dites en partage de ressources. Chaque jeton représente le moyen en tant que tel. Les modules devant échanger ont en commun cette place partagée. L'ajout ou le retrait de jeton dans cette place par l'un ou l'autre des modules représente la mobilisation, la consommation ou la sollicitation de la ressource échangée.

Pour les flux d'informations et d'action, ces échanges sont principalement représentés par des messages booléens. À chaque message est associée une information. II appartient au modèle de faire vivre ce message en le mettant à vrai ou à faux suivant les situations rencontrées. Les messages ont la caractéristique intéressante de ne pas avoir de destinataire identifié, et peuvent être reçus par n'importe quel module. Leur utilisation nécessite en revanche, pour se prémunir de nombreuses difficultés, de tenir à jour une liste de tous les

Messages utilisés, avec leur signification et leur valeur initiale. Remarquons également que l'excès de message peut conduire à une difficulté liée à un découplage excessif des phénomènes rendant là encore l'interprétation et la manipulation des modèles délicates.

Cette distinction entre échanges de moyens et échange d'informations est, il faut le reconnaître, restrictive et doit être considérée comme indicative. Si un message booléen n'est pas suffisant pour représenter une information, il est possible d'utiliser des places auxiliaires en lecture seule ou en lecture écriture, où le nombre de jetons dans la place est porteur de l'information

### II.3.3. Couche d'évaluation

Les données figurent dans les fichiers résultats de simulation du modèle constitués des couches structurelles et opérationnelles mesurent la performance du système. Ces résultats doivent faire apparaître l'estimation des différents indicateurs de performance du système. Ils sont alors remis aux décideurs qui peuvent faire leur choix en toute connaissance de conséquences.

## II.4. Propagation de l'incertitude dans l'évaluation de la performance des systèmes complexes

La plupart des auteurs s'accordent pour distinguer deux types d'incertitudes dans le domaine de l'analyse des risques [LeDuy, 2011] :

**Les incertitudes aléatoires** concernent les événements ou les phénomènes dont l'occurrence est considérée comme aléatoire ou stochastique. Elles sont souvent liées aux quantités observables) [Winkler, 1996].Une autre terminologie «variabilité» (« variability» en anglais) est également utilisé pour désigner ce type d'incertitude [Stamatelatos, 2002].

**Les incertitudes épistémiques,** elles sont associées à des quantités non observables [Winkler, 1996]. En théorie, elles peuvent être réduites voire éliminées par l'acquisition de connaissances supplémentaires. Selon la définition de Hofer [Hoeting, 1999], l'incertitude aléatoire apparaît du fait que nous ne pouvons pas donner une valeur unique à un événement aléatoire, mais plutôt une distribution de valeurs associées à des probabilités. L'incertitude épistémique est caractérisée comme une incertitude due au manque de connaissance sur des valeurs constantes mais mal connues [LeDuy, 2011].

### II.4.1. Identification des sources d'incertitude

Il faut d'abord identifier les sources d'incertitudes épistémiques et aléatoires à traiter dans l'évaluation de la performance des systèmes complexes.

#### II.4.1.1. Incertitudes aléatoire

Dans la structure des systèmes complexes, l'occurrence des défaillances des composants a un caractère aléatoire. La défaillance de l'un des composants lors de fonctionnement du système pourrait entraîner des conséquences vastes et dramatiques. Ces échecs peuvent être une action inappropriée d'opérateur, la non-réponse des équipements à la demande, mauvaise décision… etc. Ces événements influent sur la performance du système et font son succès incertain.

#### II.4.1.2. Incertitudes épistémiques

Les incertitudes épistémiques sont classées en trois types d'incertitudes: les incertitudes paramétriques, les incertitudes de modèle, les incertitudes de complétude.

##### II.4.1.2.1. Incertitudes paramétriques

Ce sont des incertitudes liées aux données d'entrée du modèle. Pour évaluer leur performance, le modèle du système complexe intègre un nombre important de données correspond aux données de fiabilité des différents composants de ces systèmes ou de fiabilité humaine. Ces données fait l'objet de travaux du calcul d'incertitudes.

Les incertitudes paramétriques peuvent résulter des différentes origines suivantes comme l'insuffisance des données observées (REX), l'erreur (biais) de mesure, l'avis d'expert.

Les données issues du REX permettent d'estimer les paramètres. En théorie il faut un nombre infini de données observées afin que l'estimation du paramètre puisse être considérée comme dénuée d'erreur. Comme ceci est impossible en pratique il en résulte la présence d'incertitudes paramétriques sur les paramètres estimés.

En cas d'absence de REX, le recours aux avis d'experts est nécessaire. Pour les paramètres liés aux fiabilités humaines, les incertitudes sont notamment évaluées par jugement d'expert. Dans

ces cas, les valeurs proposées par les experts comportent un certain nombre d'incertitudes à prendre en compte.

Dans les systèmes complexes, les incertitudes paramétriques sont actuellement exprimées sous forme de facteurs d'erreur ou d'intervalles de confiance à 90%.

#### II.4.1.2.2. Incertitudes de modèle

Ce sont des incertitudes résultant de simplifications, d'hypothèses liées à un manque de connaissance sur un système, une structure, le comportement de composants dans des conditions variées pendant le développement d'un accident. Dans les systèmes complexes, les incertitudes de modèle peuvent être très nombreuses et touchent différentes parties du modèle.

La simplification du modèle entraîne une incertitude relative au modèle utilisé. Par contre, l'incertitude relative au modèle détaillé est effectivement réduite, cependant les analystes peuvent devoir faire face à deux nouveaux problèmes : le coût de la complexité du modèle (outil, temps de calcul...) et l'augmentation des incertitudes paramétriques. En effet, d'un côté le modèle détaillé s'approche du modèle correct mais d'un autre côté il y introduit des paramètres d'entrées supplémentaires d'où l'augmentation des incertitudes paramétriques.

#### II.4.1.2.3. Incertitudes de complétude

Elles sont liées à la couverture du modèle du système. En effet, les systèmes complexes présentent des limites en termes d'exhaustivité qui concernent le domaine couvert comme par exemple, l'absence de traitement de certaines agressions internes et externes. Comme les incertitudes liées aux hypothèses de simplification, elles ne sont pas prises en considération.

### II.4.2. Manipulation de l'incertitude par la méthode de simulation de Monte Carlo

L'évaluation de l'incertitude donne la confiance aux résultats du modèle [EPA, 2009]. Il peut être réalisé au moyen de différentes approches en fonction du niveau d'incertitude associé à des paramètres considérés comme La méthode de simulation de Monte Carlo, approche basée sur les ensembles flous, théorie des fonctions de croyance… etc (fig II.8) [Buratti et al., 2012; Aven et

Zio, 2011]. La méthode de simulation de Monte Carlo a devenu la norme pour la propagation des incertitudes dans l'industrie [Stamatelatos, 2002].

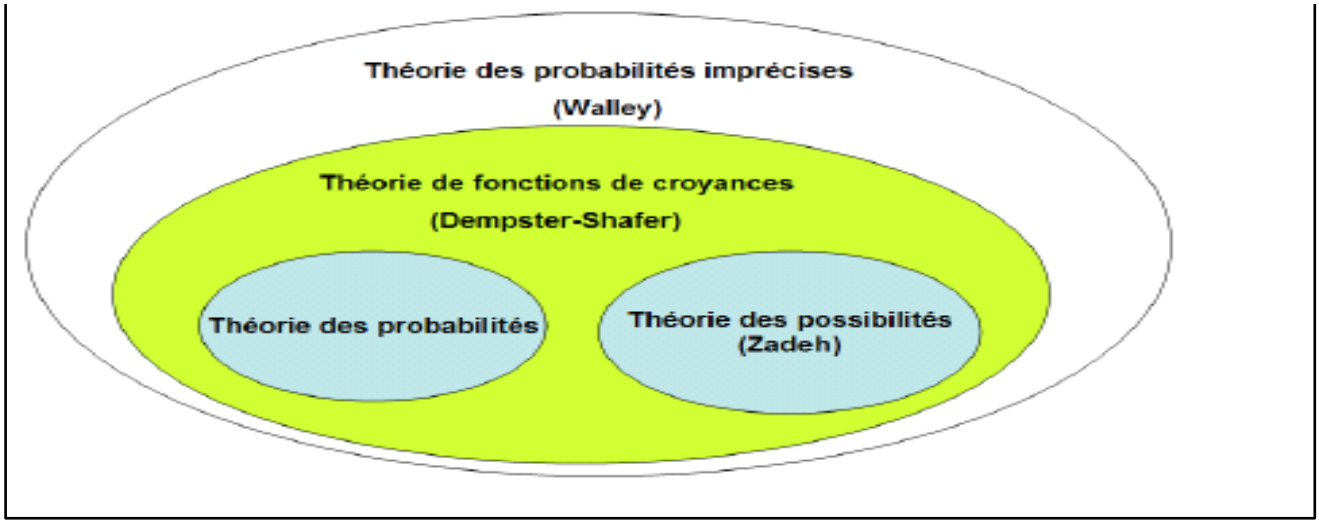



**Figure II.8 : Principales méthodes de modélisation des incertitudes [LeDuy, 2011]**

Pour illustrer la prise en compte simultanée des incertitudes aléatoires et épistémiques, les auteurs ont utilisé la simulation de Monte Carlo à 2-niveaux [Durga et al. 2007]. Dans la boucle intérieure, le temps de défaillance et le temps de réparation (incertitudes aléatoires) ont été échantillonnés jusqu'à la durée de mission. Dans la boucle extérieure, les incertitudes paramétriques relatives aux données ont été modélisées par des lois log-normales. Les résultats sont représentés sous forme d'une famille de fonctions de répartition probabilistes dont l'étalement représente l'incertitude épistémique. Chaque fonction de répartition probabiliste représente l'incertitude aléatoire en fonction du temps de défaillance à la sollicitation.

Ses principales étapes sont brièvement décrites comme suit [Innal et al. 2014]:

**1**. Construction d'une fonction de densité de probabilité pour chaque paramètre d'entrée. Dans le contexte des systèmes de réponse à l'urgence, les paramètres d'entrée peut inclure la probabilité de défaillance à la sollicitation, la disponibilité des équipes d'intervention et la durée de réalisation des actions de réponse à l'urgence. Les distributions de probabilité peuvent être choisis en fonction de l'état de connaissances sur la valeur des paramètres, par exemple: uniforme, triangulaire, normale, log-normale, Chi-carré, bêta, gamma, etc

**2**. Générer un jeu de paramètres d'entrée à l'aide des nombres hasards (répartis uniformément entre 0 et 1) selon les fonctions de densité de probabilité affectées à ces paramètres.

**3.** Quantifier la fonction de sortie à l'aide de l'ensemble de valeursaléatoires. La valeur obtenue est une réalisation d'une variable aléatoire (X). Il convient de noter que cette quantification nécessite à son tour une simulation de Monte Carlo.

**4**. Répétez les étapes 2 à 3 n fois (jusqu'à ce qu'un nombre suffisant, par exemple 1000) produisant n valeurs de sortie indépendantes. Ces n valeurs de sortie représentent un échantillon aléatoire de la distribution de probabilité (distribution empirique) à la sortie de la fonction. On notera que le nombre total des antécédents de Monte Carlo n'est pas égal à n, puisque le processus (résultant de la quantification de la propagation de l'incertitude) représente une double boucle de Simulation Monte Carlo**.**

**5.** Générer des statistiques de l'échantillon obtenu pour le résultat de la sortie: moyenne, écart type, intervalle de confiance… etc.

## II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans un premier temps, les réseaux de Petri, la simulation de Monte Carlo et l'outil MOCA-RP. Dans un deuxième temps, nous avons abordé une approche structurée de modélisation de systèmes complexes via les réseaux de Petri. Dans un troisième temps, une distinction entre les incertitudes aléatoires et les incertitudes épistémiques a été faite et la propagation de l'incertitude dans le comportement des systèmes complexes par la méthode de Monte Carlo a été étudiée. Dans le chapitre suivant, nous appliquons cet outil d'évaluation sur le Plan interne d'intervention (PII) de l'entreprise SONATRACH DP Hassi R'mel.

# *Chapitre3*

# *la gestion des urgences*

## *Chapitre3 la gestion des urgences*

## **Section 1** :

## **Classement des accidents selon la gravité des événements :**

Un programme efficace de gestion de la santé et de la sécurité devrait s'assurer de l'existence d'un plan interne d'intervention ou gestion des crises, qui en fonction des besoins identifiés de l'établissement, définit les procédures d'évacuation, attribue clairement les responsabilités et assure une réponse efficace à l'intérieur de l'établissement.

## I. Degré de gravité des événements

Selon [Lagadec, 2000; OCDE, 1992], un accident industriel est un événement tel qu'une émission de matière toxique, un incendie ou une explosion résultant de développements incontrôlés d'une perte de confinement survenus dans une activité industrielle chimique et/ou pétrochimique qui engendre un danger grave, immédiat ou ultérieur, pour l'homme tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'établissement et dans lequel une ou plusieurs substances dangereuses sont impliquées.

Une échelle de gravité des accidents est définie, elle classe les accidents en trois niveaux selon une graduation de la gravité du phénomène, Incident, Urgence et Crise et à chaque niveau correspond une structure de gestion plus ou moins complexe qui est développée dans des plans internes ou externes d'intervention [DCSSE, 2007]

## I.1. Niveau 1 :

## Incident

Selon [Perrow, 1999; Perilhon, 2002; DCSSE, 2007], un Incident se définit comme «toute situation résultante d'un événement non souhaité n'ayant qu'un impact faible envers les personnes, l'environnement et l'installation».

## I.2. Niveau 2 :

## Urgence

Selon [DCSSE, 2007; Cédrick, 2011], une Urgence se définit comme «toute situation résultante d'un événement non souhaité ayant un impact grave envers les personnes, l'environnement et l'installation et nécessitant la coordination de différents intervenants pour faire disparaître la menace ou de limiter les conséquences néfastes».

## I.3. Niveau 3 :

## Crise

Selon [Roux-Dufort, 2003; DCSSE, 2007; Dewil, 2010], une Crise se définit comme «toute situation résultante d'un événement rare et brutal provoquant une rupture et un déséquilibre entre besoins et moyens et ayant un impact catastrophique envers les personnes, l'environnement et l'installation et sur la réputation et les capacités professionnelles des établissements ».

De manière à faire face aux urgences et aux crises, diverses actions sont mises en œuvre. Ces actions sont organisées en quatre phases, qui font l'objet du paragraphe suivant.

## *Section 2 :*

## Processus de gestion des urgences et des crises

La gestion des urgences et des crises est un processus continu, dynamique, proactif, réactif et réflectif, qui s'articule autour de quatre phases bien identifiées, avant, pendant et après la crise. Ces quatre phases sont illustrées sur la figure N°1et sont :

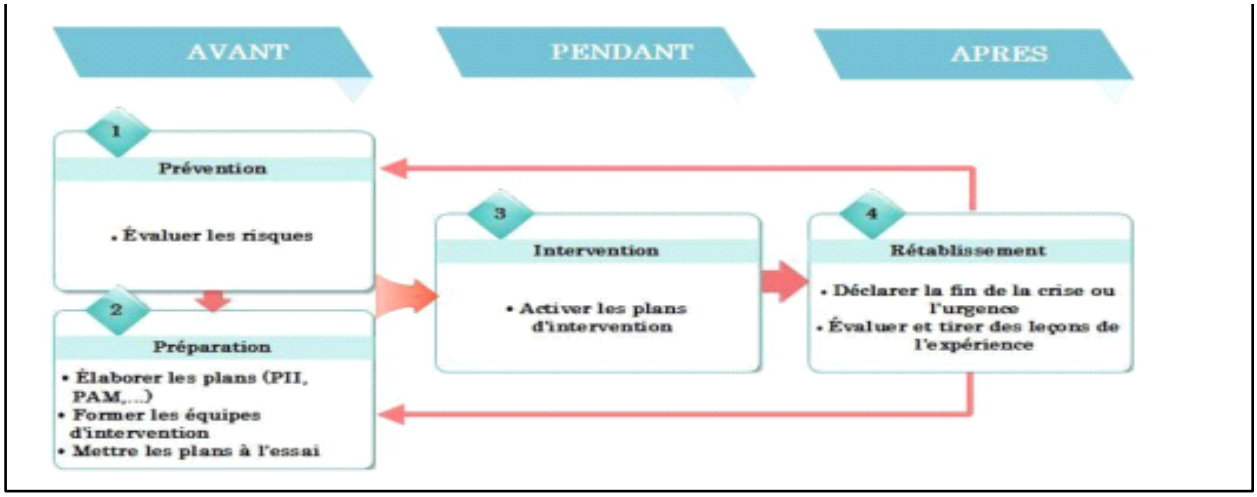



**Figure N°1. Processus de gestion des urgences et des crises [adapté depuis DCSSE, 2007]**

## II.1.Prévention

La prévention est la phase initiale du processus de gestion des urgences et des crises et doit être mise en place avant la survenue d'une crise. Elle a pour objectif d'amener le risque de crise à un seuil acceptable et, quand cela est possible, d'éviter que la crise ne se produise effectivement elle s'agit d'actions continues visant à réduire ou éliminer le risque pour les personnes, les biens et l'environnement sur le long-terme et elle regroupe les activités proactives, mises en place par les organisations pour analyser et évaluer les niveaux de risque et de menace d'un territoire. Sur la base de ces études, des scenarios sur les accidents et crises potentiels sont établis afin de mettre en place des mesures de prévention des risques.

## *II.2.Préparation*

Ce terme désigne les actions prises pour se préparer à intervenir efficacement lors d'une crise ou d'une urgence et à atténuer leur impact sur les populations vulnérables. Elles consistent notamment à développer des différents types de plans de réponse à l'urgence et les mettre à l'essai. Il s'agit par exemple des plans internes d'intervention « PII », d'assistance mutuelle (PAM), d'intervention médicale (PIM) ou de sûreté (terrorisme et autres actes de malveillance). Sur la base des analyses de risques, les organisations vont alors planifier les ressources humaines et matérielles permettant de répondre aux scenarios établis, déterminer les moyens de

communication, définir un réseau de structures de réponse supportant la coordination des acteurs, et pour cela tout un ensemble de plans est rédigé afin d'aider les décideurs au moment venu. Ils contiennent les différents scenarios de crises, des annuaires recensant les divers acteurs, la composition des cellules de crise, les rôles et les objectifs de chacun.

Cette phase de planification est également l'occasion de préparer les organisations, au travers des exercices de simulation et les formations des équipes d'intervention, afin d'assurer la disponibilité, la rapidité de mobilisation et de déploiement des ressources nécessaires pour gérer les urgences potentielles, définies en amont dans les scenarios de risques en appliquant des plans exposés précédemment.

## Développement des plans de réponse à l'urgence

La réalisation d'un plan de réponse à l'urgence est souvent conduite comme un projet de grande ampleur. Plusieurs guides à l'attention des comités de planification ont été édités par des autorités nationales de plusieurs pays [DDSC, 1985; FEMA, 1996; U.S. NRT, 2001; FEMA, 2003; EMA, 2004; DDSC 2006 ; DDSC, 2007 ; FEMA, 2009; MIPMEPI et MICL, 2010], mais aussi par des organismes d'envergure nationale ou internationale Ils préconisent une procédure générale à suivre afin de mettre en place un plan de réponse à l'urgence. Cette méthode de planification comporte de façon générale les étapes suivantes

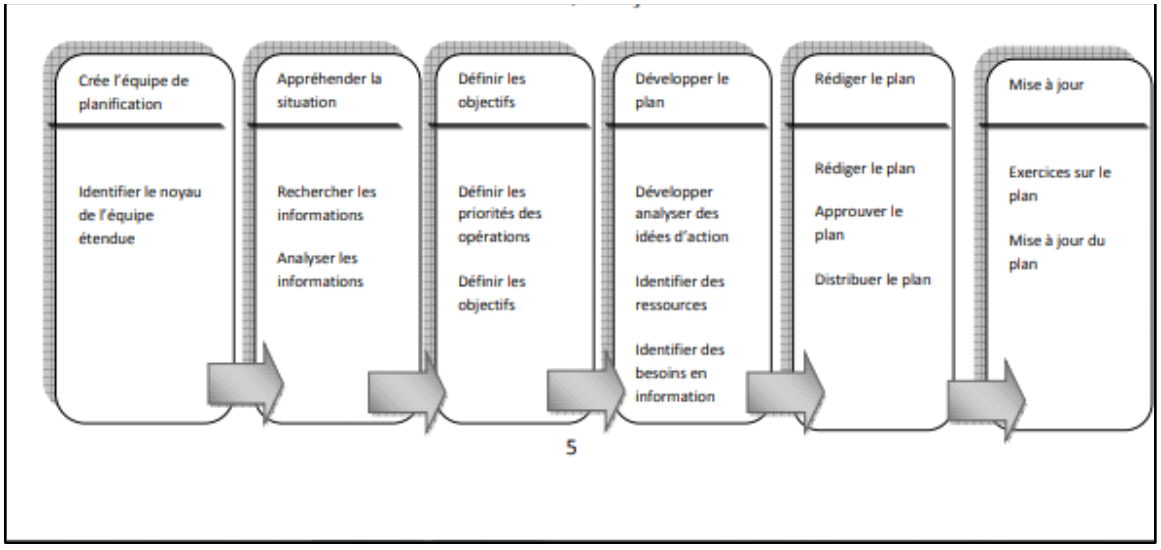



**Figure N°2. Procédure de mise en place des plans de réponse à l'urgence [adapté depuis FEMA, 2009]**

**a) Créer l'équipe de planification :** Un plan de réponse à l'urgence est développé en équipe. La formation d'une équipe de planification permet aux différents acteurs de bien définir leurs rôles dans le dispositif de gestion des risques.

**b) Appréhender la situation :** Cette étape constitue la partie analytique du processus de résolution de problèmes et de prise de décision. La première partie est la recherche des informations pertinentes sur les risques envisagés. Les membres du comité de planification fournissent les premiers renseignements dans cette étape. Les études de danger constituent la source d'informations indispensable pour le développement du plan. La deuxième partie est l'analyse des informations, afin de produire les faits et hypothèses qui seront utilisées afin de définir les besoins opérationnels.

**c) Définir les objectifs :** En utilisant les informations disponibles à partir de l'étape précédente, des scénarios d'accidents sont développés. Le développement des scénarios permet de définir les besoins opérationnels qui déterminent les actions à effectuer et les ressources nécessaires pour ceci. Les opérations de gestion d'une catastrophe ont trois objectifs principaux : sauver et protéger les personnes, protéger les biens, et protéger l'environnement. La protection de la vie humaine est la priorité principale des opérations d'urgence après toute catastrophe. Pour atteindre ces 3 objectifs, des activités opérationnelles conséquentes doivent être entreprises immédiatement après la survenue de l'événement [McEntire, 2005 ; FEMA, 2009]. Les besoins opérationnels qui en résultent sont classés en besoins créés par l'incident et ceux induits par la gestion de l'incident. Les besoins créés par l'incident sont ceux qui résultent directement du phénomène dangereux. Ils se manifestent pendant ou immédiatement après la survenue de l'incident.

**d) Développer le plan :** A ce stade, des solutions potentielles pour atteindre les objectifs définis pendant l'étape précédente sont recherchées. La méthode hybride de planification est utilisée pour illustrer l'évolution du scénario à travers le temps et identifier des points de décision critiques, les tâches opérationnelles, les ressources nécessaires pour les accomplir et les besoins en information.

**e) Rédiger et approuver le plan** : Une fois l'idée opérationnelle mise en place, les résultats du travail sont transformés en un plan écrit. Le document doit être succinct et simple, afin d'être facilement appréhendé par tous les acteurs impliqués. Un document est diffusé aux organisations ayant des responsabilités dans la mise en œuvre du plan afin d'avoir leur retour et approbation. Une fois les commentaires reçus, le document final est arrêté par les Elus ou le représentant de l'Etat, selon les modalités réglementaires. Des copies du document sont diffusées aux acteurs concernés, et une liste des copies est maintenue afin d'assurer la diffusion des mises à jour.

### f) Exécuter et mettre à jour le plan :

Outre la mise en œuvre du plan en cas d'accident réel, les exercices de simulation permettent aussi d'évaluer l'efficacité du plan. De plus, ils sont un moyen de formation des acteurs en gestion de crise et aux modalités du plan, mais permettent aussi d'identifier les défaillances dans la mise en œuvre du plan et d'arriver aux modifications nécessaires. Outre les modifications grâce au retour d'expérience ( rapport des exercices de simulation et des accidents réels), des mises à jour du plan sont également nécessaires suite à des changements importants de la situation, ou lorsque la réglementation en vigueur l'impose.

## II.3.Intervention

La phase de la réponse opérationnelle commence par l'activation des plans de réponse à l'urgence suivant la survenue d'un événement dangereux. Elle englobe toutes les actions effectuées (intervention, sauvetage et évacuation) afin de s'occuper des conséquences d'une crise ou d'une urgence, mettre les personnes en sécurité, protéger les biens et limiter les effets de l'événement sur l'environnement. Cette réponse revêt différentes formes en fonction de la localité, de la durée et de la gravité des conséquences.

## II.4. Rétablissement

Le retour à la normale est mise en œuvre progressivement après la déclaration de la fin de l'urgence ou de la crise, par minimiser leur effets, limiter les impacts sur l'environnement et la population locale, évaluer et tirer des leçons de l'expérience. À plus long terme, l'objectif est de ramener les systèmes à la normale, qu'il s'agisse d'environnement, d'économie, de la reconstruction des établissements ou autres.

La gestion des situations d'urgence et de crise dans le secteur industriel en Algérie repose sur de multiples acteurs ayant des missions différentes bien identifiées dans des plans internes ou externes d'intervention. La partie suivante se focalise sur la description de la stratégie de réponse à l'urgence mise en place lors des situations d'urgence et/ou de crise et plus particulièrement sur les plans internes d'intervention « PII ».

## *Section 3 :*

## Stratégie de réponse aux urgences et aux crises

Le système de gestion des situations d'urgence et de crise, appelé Incident Command System (ICS) permet d'améliorer la coordination entre les différentes structures concernées et de mobiliser rapidement les moyens humains et matériels nécessaires aux interventions. Il définit également les rôles et responsabilités pour chaque niveau de l'organisation. Ce système de Commandement de

L'Incident se déploie sur trois niveaux de gestion en fonction du degré de gravité de l'incident [DCSSE, 2007] (Fig. II.3) :

**III.1.Niveau 1 (Plan Interne d'Intervention « PII »):** il a pour fonctions essentielles le confinement de l'incident et la préservation de la sécurité du personnel et l'environnement. Il est contrôlé par le Poste de Direction des Opérations Internes Locales et le Poste de Commande Opérationnel au niveau du site sinistré.

**III.2.Niveau 2 (Plan d'Aide Mutuel « PAM »):** il a pour fonctions de minimiser l'impact de l'incident au niveau régional et d'assurer la coordination de l'opération au niveau local en liaison avec les autres sites à proximité de l'incident. Il est contrôlé par le Poste de Commande Tactique (Direction des Opérations Internes Régionales).

**III.3.Niveau 3 (Plan de Gestion de Crise, ORSEC):** il a pour fonctions la gestion globale de tous les incidents, la communication avec les parties prenantes concernées et le suivi des activités et engagements commerciaux et autres en situations d'urgences et de crises. Il est contrôlé par le Poste de Commande Stratégique au niveau central (Direction des Opérations Internes Nationales).

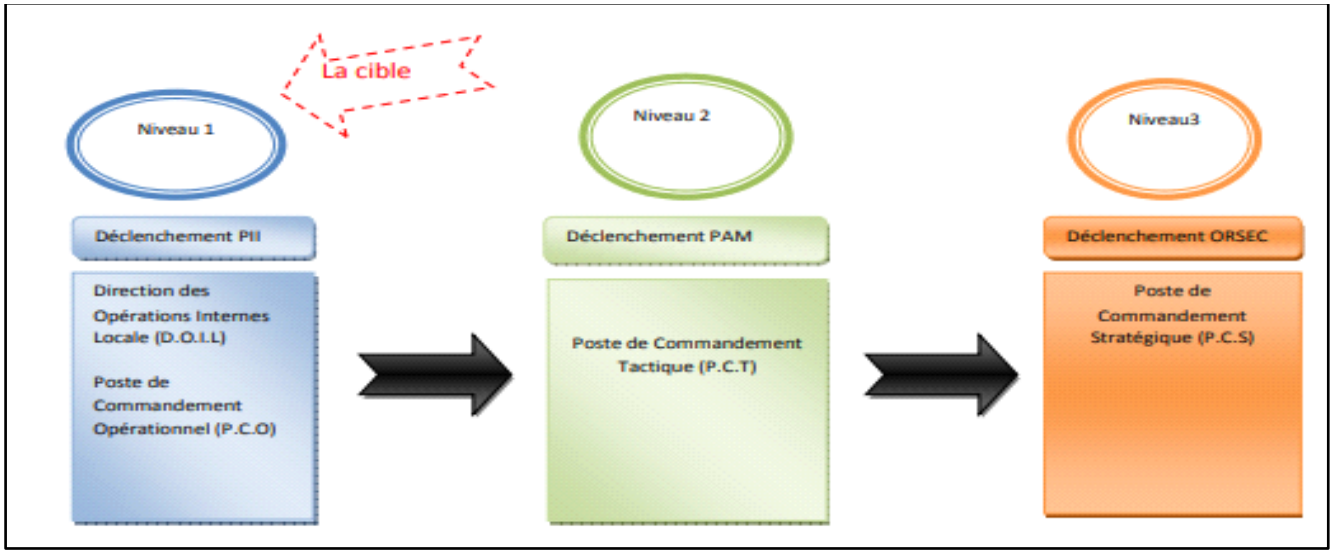



**Figure N°3. 3. Chaine générale de Commandement de l'Incident « ICS »**

Donc La gestion des urgences et des crises est assurée à travers les trois niveaux de commandements suivants :

Le niveau I : Commandement opérationnel de I 'incident l'accident.

Le niveau II : Commandement Tactique de l'urgence.

Le niveau III : Commandement Stratégique de crise.

# Chapitre 4

# *Le canevas*

# Chapitre 4 *Le canevas*

## Section 1 :

## Composition du PII

Le ministère de L'intérieur et le ministère de l'Environnement ont établi un « Guide d'élaboration d'un Plan Interne d'intervention ».Ce document définit la composition du PII type, il pourra alors être organisé de la façon suivante :

• Sommaire

• Destinataires

• Mises à jour

• 1. Alerte

• 2. Situation géographique

• 3. Évaluation des risques

• 4. Recensement des moyens

• 5. Organisation des secours

• 6. Information

• 7. Exercices d'entraînement

# I.1.LA PREMIER PARTIE :

La première partie c'est des Généralités, on parle sur la diffusion de PII la mise en œuvre et la présentation du site visé « la station de service TAMEZGUIDA –NORD

## I.1.1 Diffusion du PII :

La restriction et le contrôle de la diffusion de ce PII contribuent à éviter que des éléments techniques ou organisationnels ne parviennent à des personnes susceptibles d'Operations malveillantes.

## a) Diffusion en externe :

-Le wali

- Président de l'assemblée populaire communale

-Le Directeur chargé de l'Industrie de wilaya

-Le Directeur de la Protection Civile de wilaya

-Le Directeur de l'Environnement de wilaya

- Le Directeur du secteur concerné de wilaya

## b) Diffusion en interne

Le Plan interne d'intervention est distribué à tous les intervenants concernés chez la Station de service TAMEZGUIDA NORD au moyen de copies contrôlées. Un protocole d'entente avec les détenteurs de copies contrôlées spécifie qu'aucune reproduction du PII, par quelque moyen que ce soit, ne doit avoir lieu sans L'approbation écrite du directeur de l'unité (directeur des Interventions internes). Cette procédure assure l'authenticité des copies contrôlées

Détenteur de l'exemplaire en interne :

-Poste de Commandement exploitant (PC)

– Station-service TAMEZGUIDA NORD

-Poste de Commandement Opérationnel (PCO).

-Le Chef de la Station-service TAMEZGUIDA NORD

-Le directeur du District Commercialisation MEDEA

-Le responsable de la structure sécurité.

-Le responsable de la structure sûreté interne.

-Les membres du Poste de commandement Opérationnel.

-Le poste de commandement stratégique (PCS)

-Branche Commercialisation - Alger.

– Exemplaire en réserve.

### *I.1.2 Mise à jour :*

## **Révision du plan interne d'intervention :** (24)

Le coordonnateur du plan interne d'intervention est responsable de :

- La révision annuelle du plan interne d'intervention ;

- Personnes ressources ;

- Liste des numéros de téléphone ;

- Modifications aux opérations ;

- Modifications apportées au voisinage des installations.

- La transmission des modifications à chaque personne étant inscrite sur la liste de distribution

- Transmettre de façon périodique une nouvelle copie du plan interne d'intervention afin d'assurer son intégrité face à chaque intervenant ;

- Il doit garder contact avec les différents intervenants inscrits dans le plan interne d'intervention afin de s'assurer que chaque modification de structure administrative ou de disponibilité de personnel ou d'équipement soit connue et inscrite au plan interne d'intervention du " Station-service TAMEZGUIDA NORD ".

- Annuellement, le coordonnateur du plan interne d'intervention doit correspondre avec chaque membre de la liste de distribution afin de leur rappeler les changements survenus au cours de l'année, ou le cas échéant, de leur mentionner que les informations contenues dans le document sont demeurées inchangées.

Il est de la responsabilité du détenteur de la copie contrôlée du Plan de s'assurer que toutes les mises à jour ont été faites. Le détenteur de la copie contrôlée doit :

- Enlever et détruire les pages périmées ;

- Remplacer les pages périmées par les nouvelles pages ;

- Enregistrer toute modification sur le présent registre.

### I.1.3 Présentation générale de l'établissement : (voir canevas Fiche n° A3)( 25)

Les stations de services autoroutières sont situées sur l'axe de l'Autoroute Est/Ouest dans des aires de service. Elles sont conçues sous forme d'ensembles intégrés, d'entités fonctionnelles, organisées et dimensionnées de manière à assurer un bon fonctionnement des activités et offrir aux futurs utilisateurs de l'Autoroute Est/Ouest les services nécessaires dans les meilleures conditions.

La station-service est situé à **TAMEZGUIDA NORD** wilaya de BLIDA est l'un des projets les très importants de l'autoroute est-ouest qui sera pour objectif d'offrir tous les services nécessaires aux futurs autoroutiers dans les meilleurs conditions. L'aire assure les fonctions suivantes :

*Le ravitaillement du carburant (essence super, essence normale, essence sans plomb, gaz oïl, gaz pétrolier liquéfié GPL/C).

* La vente des accessoires des véhicules, pneumatique et des lubrifiants.

## *a)Localisation du site :(26)*

La station de service TAMEZGUIDA Nord Pk 655+200 est située sur l'autoroute est/ouest dans la commune de AIN ROMANA. La station de service TAMEZGUIDA Nord est limitée:

- Au Nord : Route en construction.
- Au Sud : Autoroute Est-Ouest.
- A L'Est : Terrain agricole.
- A l'Ouest : Terrain agricole.

La fonction dominante de la station de service TAMEZGUIDA-NORD est matérialisée par laire de distribution des carburants couverte par un auvent.

La boutique, la cafétéria avec terrasse extérieure, les sanitaires, et la baie de service sont intégrés dans une architecture homogène permettant à l'usager un moment de détente et deconot

La station de service propose à leurs clients une gamme complète de carburants. Elles offrent aussi des services de proximités, créant un lieu de convivialité et de détente,

Un autre bloc est prévu aussi pour salles de prière et sanitaires, hommes et femmes, il sera prévu derrière le bâtiment multiservices.

Le principe d'aménagement et de dimensionnement des îlots, le dimensionnement des volucompteurs et des capacités de stockage de distribution sont à la charge de Naftal.

Pour une bonne fluidité de la circulation et la sécurité des clients à l'intérieur de cette station service, la piste de distribution des carburants est organisée en deux zones, une zone

réservée aux poids lourds, une autre pour les véhicules légers.

Les parkings sont prévus en nombre suffisant pour les poids lourds et les véhicules légers avec des places de stationnement pour handicapés, bus et véhicules ou camions d'entretien et maintenance

Un autre espace clôturé est réservé pour le dépôt d'ordures.

Au niveau de la station service TAMEZGUIDA-NORD, les parkings seront réalisés en béton imprimé, marquant ainsi là zone du stationnement par rapport à celle de la circulation.

Les espaces verts sont aménagés, pour agrémenter les stations de services et créer une convivialité, par la proposition de plantations appropriées.

La sécurité des biens et des utilisateurs, la protection de l'environnement, sont également assurées et des installations nécessaires à cet effet y sont prévues.

Espace de jeu pour enfant.

# *Conclusion générale*

## ***Conclusion générale***

Arrivés au terme de ce travail, force est de constater que nombre d'idées et de voies de recherche s'ouvrent à nous, concernent notamment le développement des outils et des démarches d'évaluation de la performance des plans de réponse à l'urgence et de gestion des crises.Les Plans Internes d'Intervention jouent un rôle majeur dans la limitation des conséquences des accidents industriels majeurs. Par conséquent, une attention particulière devrait être accordée au cours de leur développement et leur mise en œuvre.

Rappelons tout d'abord, l'objectif de ce mémoire, dont l'intitule « **Évaluationde la performance des plans internes d'intervention** », est de contribuer au développement des outils permettant d'analyser le comportement dynamique des plans d'urgences, d'évaluer et d'améliorer leurs performance et définir les grands axes d'amélioration pour une meilleure efficacité des PII, dont une nouvelle approche d'évaluation de la performance des PII a été proposée, au moyen des réseaux de Petri. Un enchainement logique dans le traitement du sujet, nous amène de revenir sur des points représentant les résultats obtenus de chaque chapitre: Le premier chapitre a permet de poser la problématique de la gestion des risque HSE dans le secteur pétrolier et l'importance des plans d'urgence comme barrières de protection en vue de limiter et confiner les conséquences en cas de survenance d'un d'accidents industriel. A travers une étude de l'état des PII, il a été démontré que les approches actuelles tendant à évaluer leur performance sont des approches qualitatives, dans ce travail, on a utilisé une méthode quantitative pour l'analyse fonctionnelle

(étude de fiabilité) des PII, suivant une approche probabiliste, comme indicateur clé d'évaluation de leur performance. Pour cela, les réseaux de Petri sont retenus comme outil puissant et plus adapté pour l'évaluation quantitative de la performance des PII, basée sur la fiabilité de ses composants.

Ensuite, le deuxième chapitre a été consacré à une présentation succincte des réseaux de Petri et la simulation de Monte-Carlo, puis présentant une démarchée structurée, proposée dans le cadre du présent mémoire, en couplant les deux outils RdP et MOCA comme outils de modélisation du comportement dynamique des systèmes complexes et d'évaluation de leurs performance, dont la complexité du système étudié (PII), a imposé la structuration des modèles. Pour cela, une approche a été adoptée permettant la modélisation des systèmes complexes au moyen des réseaux de Petri, et par la suite, on a identifié les sources d'incertitude, analysé et étudié leur propagation par l'outil de simulation MOCA.

Le troisième chapitre présente une étude de***la gestion des urgences..***

***Le quatrime chapitreb presente une etude*****Le canevas ...**

Le travail réalisé dans ce mémoire est un premier pas dans l'évaluation de la performance des systèmes de réponse à l'urgence au moyen des réseaux de Petri, dont d'autres approches, pour évaluer la performance des plans de réponse à l'urgence quantitativement dans un milieu incertain peuvent être développées et peuvent également faire l'objet de futures études.

# Bibliographie

# Bibliographie

1. [Alexander, 2002] Alexander, D., 2002. Principles of emergency planning and management. Terra Publishing, ISBN: 1-903544-10-6.

2. [Alexander, 2005] Alexander, D., 2005. Towards the development of a standard in emergency planning. Disaster Prevention and Management, 14(2), 158-175.

3. [Aven et Zio, 2011] Aven, T., Zio, E., 2011. Some considerations on the treatment of uncertainties in risk assessment for practical decision-making, Reliability Engineering and System Safety, vol. 96, pp. 64-74.

4. [Blume et al., 2007] Blume, H., Von, S.T., Becker D. & Noll T.G., 2007. Application of deterministic and stochastic Petri Nets for performance modeling of NoC architectures, Journal of Systems Architecture, 53, 466-476.

5. [Buratti et al., 2012] Buratti, N., Ferracuti, B., Savoia, M., Antonioni, G., and Cozzani , V.,2012. A fuzzy-sets based approach for modelling uncertainties in quantitative risk assessment of industrial plants under seismic actions,Chemical Engineering Transactions, vol. 26, pp. 105-110.

6. [Cabarbaye et Laulheret, 2005] Cabarbaye, A., Laulheret, R., 2005. Evaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes dynamiques par modélisation récursive. 6ème Congrès International pluridisciplinaire, qualité et sûreté de fonctionnement, Bordeaux.

7. [Cédrick, 2011] Cédrick, M., 2011, La gestion des risques d‟accidents industriels

majeurs : état de la situation sur le territoire de la Pointe-De-L‟île. CSSS de la Pointe-de-l‟Île.

8. [Chabot, 1998] Chabot, J.L., 1998. Approche probabiliste relative à l‟étude des scénarios d‟incendie. Université de Poitiers-ENSMA.

9. [Chorier, 2007] Chorier, J., 2007. Diagnostic et évaluation des risques incendies d‟une construction et de sa mise en sécurité, Thèse de doctorat, Université de Savoie.

10. [CRAIM, 2007] Conseil pour la Réduction des Accidents Industriels Majeurs, 2007. Guide de gestion des risques d‟accidents industriels majeurs. Canada.

11. [DC HSE, 2007] Direction centrale Hygiène Sécurité Environnement, 2007. Référentiel du système de gestion des urgences et des crises (ICS), SONATRACH.

12. [DCSSE, 2007] Direction Centrale Sante, Sécurité & Environnement, 2007. Référentiel Système de Gestion des Urgences et des Crises, Standard Plan d‟Organisation Interne POI. SONATRACH.

13. [DDSC, 1985] Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles, 1985. Guide d‟élaboration d‟un Plan d‟Opération Interne, ISBN : 2-905015-16-0

14. [DDSC, 2006] Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles, 2006. Guide ORSEC Départemental – Méthode générale, Tome G.1, http://www.interieur.gouv.fr/sections/a_l_interieur/defense_et_securite_civile

s/dossiers/plan-orsec

15. [DDSC, 2007] Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles, 2007. ORSEC Départemental – Disposition Spécifique – Plan Particulier d‟Intervention (PPI) – Etablissements SEVESO « seuil haut », Mémento, Tome S.1.1., http://www.interieur.gouv.fr/sections/a_l_interieur/defense_et_securite_civile s/gestion-risques/planification-orsec

16. [Dewil, 2010] Dewil, I.P., 2010. La planification d‟urgence : Où en sommes-nous ? Où allons-nous ? Séminaire –6 mai 2010 : Approche structurée ou situation d‟urgence ? Les Isnes.

17. [Dhouibi, 2005] Dhouibi H., 2005. Utilisation des réseaux de Petri a intervalles pour la régulation d‟une qualité: application a une manufacture de tabac, Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille et par l‟Ecole Centrale de Lille.

18. [DNV, 2010] DET NORSKE VERITAS, 2010. Etude De Danger (EDD), Rapport N° EP002718 N°6-8 . SONATRACH DP HRM Centre.

19. [DNV, 2011] DET NORSKE VERITAS, 2011. Plan d,,Intervention Interne (PII), Rapport N° EP002720 N° 6 – HRM Centre, SONATRACH.

20. [Dubi, 2000] Dubi, A., 2000. Monte Carlo Applications in systems engineering. John Wiley & Sons, Ltd. England.

21. [Durga et al., 2007] Durg,a R.K., Kushwaha, H., Verma, A., and Srividya, A., 2007. Quantification of epistemic and aleatory uncertainties in level-1

probabilistic safety assessment studies. Reliability Engineering and System Safety 92, 947–956.

22. [EMA, 2004] Emergency Management Australia, 2004. Emergency Planning, ISBN: 0-9750474-5-0

23. [EPA, 2009] Environmental Protection Agency, 2009. Guidance on the development, Evaluation, and application of Environmental models. U.S.

24:Documents internes NAFTAL

25:Etude de dangers TAMEZGUIDA Nord

26:Fiche technique TAMEZGUIDA Nord