

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDÈS  
Département génie des procédés

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
Département maîtrise des risques industriels et environnementaux

SUPPORT DE COURS  
GESTION DES RISQUES INDUSTRIELS ET  
SURETÉ DE FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES  
PARTIE I

Mastère en Hygiène et Sécurité Industrielle (HSI)  
Mastère en Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement et Gestion des Risques  
Industriels (QHSE-GRI)  
2<sup>ème</sup> Semestre du 2<sup>ème</sup> cycle -M1  
4<sup>ème</sup> Semestre du 2<sup>ème</sup> cycle- Mastère-Ingénieur

Par :

Dr. Amin BENMOKHTAR Maitre de conférence B à l'ENP  
Dr. Hammouche AKSAS Maitre de conférence A à l'UMBB  
Dr. Abdelfetah ZENATI Maitre de conférence A à l'USTHB

Mai 2021

# AVANT PROPOS

## SUPPORT DE COURS GESTION DES RISQUES INDUSTRIELS SURETÉ DE FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES PARTIE I

*Le présent support de cours, Exercices Pratiques, est destiné :*

- *Aux premières années mastère (M1) Hygiène et Sécurité Industrielle (HSI) dispensé au département génie des procédés à l'université Université M'hamed Bougara de Boumerdès.*
- *Aux deuxièmes années du deuxième cycle du master Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement - Gestion des Risques Industriels (QHSE-GRI) dispensé au département de maîtrise des risques industriels et environnementaux de l'École Nationale Polytechnique.*

## TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS .....	2
TABLE DES MATIÈRES .....	3
LISTE DES TABLEAUX .....	5
LISTE DES FIGURES .....	5
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES SIGLES .....	6
<b>TP N°1 Analyse fonctionnelle par la Structured Analysis and Design Technique (SADT).....</b>	<b>8</b>
1.1. <i>But du TP</i> .....	8
1.2. <i>Introduction</i> .....	8
1.3. <i>Équipement choisi</i> .....	8
1.4. <i>Formation d'un groupe de TP</i> .....	9
1.5. <i>Aspects méthodologique</i> .....	9
1.5.1. <i>Outils d'analyses fonctionnelles</i> .....	10
1.5.2. <i>Présentation de la méthode SADT</i> .....	10
1.6. <i>Synthèse</i> .....	12
<b>TP N°2 Élaboration d'une Analyse de Risque par l'Analyse Préliminaire de Risques (APR).....</b>	<b>14</b>
1.1. <i>But du TP</i> .....	14
1.2. <i>Introduction</i> .....	14
1.3. <i>Équipement choisi</i> .....	15
1.4. <i>Formation d'un groupe de TP</i> .....	15
1.5. <i>Démarche méthodologique</i> .....	15
1.5.1. <i>Connaissances de votre système</i> .....	16
1.5.2. <i>Déroulement des étapes</i> .....	17
1.5.3. <i>Évaluation semi-quantitative des risques</i> .....	17
1.5.4. <i>Élaboration du tableau – APR</i> .....	18
1.6. <i>Synthèse</i> .....	19
<b>TP N°3 Élaboration d'une Analyse de risque par l'Arbre de Défaillances (Add).....</b>	<b>21</b>
1.1. <i>But du TP</i> .....	21
1.2. <i>Introduction</i> .....	21
1.3. <i>Équipement choisi</i> .....	21
1.4. <i>Démarche méthodologique</i> .....	22
1.5. <i>Application de la méthode d'Add</i> .....	22
1.6. <i>Synthèse</i> .....	23
<b>TP N°4 Élaboration d'une analyse de risque par l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (et Criticité) : AMDE(C) .....</b>	<b>26</b>
1.1. <i>But du TP</i> .....	26
1.2. <i>Introduction</i> .....	26
1.3. <i>Équipement choisi</i> .....	26
1.4. <i>Démarche méthodologique</i> .....	27
1.5. <i>Synthèse</i> .....	29

<b>TP N°5 Élaboration d'une Analyse de risque par la HAZOP. Cas d'une chaudière à gaz</b> .....	<b>31</b>
1.1. <i>But du TP</i> .....	31
1.2. <i>Introduction</i> .....	31
1.3. <i>Équipement choisi</i> .....	31
1.4. <i>Démarche méthodologique</i> .....	31
1.5. <i>Synthèse</i> .....	34

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Désignations des éléments du système .....	11
Tableau 2 : Étapes de déploiement de l'APR ( <i>Benmokhtar, 2013</i> ).....	16
Tableau 3 : Déploiement de l'AMDEC.....	28
Tableau 4 : Illustration de la HAZOP.....	34

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schématisation détaillée du système .....	10
Figure 2 : Schématisation descendante .....	12
Figure 3 : Démarches d'exploration du système.....	17
Figure 4 : Fonctionnement d'un système .....	27
Figure 5 : Déploiement de la HAZOP .....	32
Figure 6 : Phases de la HAZOP.....	33

## LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES SIGLES

### **TP N°1 Analyse fonctionnelle par la *Structured Analysis and Design Technique* (SADT)**

SADT	<i>Structured Analysis and Design Technique</i>
FAST	<i>Function Analysis System Technique</i>
M.O.E	Matière d'Œuvre Entrante
M.O.S	Matière d'Œuvre Sortante
C	Paramètre de configuration
R	Paramètre de Réglage
E	Données d'Exploitation/consigne de fonctionnement

### **TP N°2 Élaboration d'une Analyse de risque par l'Analyse Préliminaire de Risques (APR)**

APR	Analyse Préliminaire de Risque
ER	Évènement Redouté
EI	Évènement Initiateur
F	Niveau de Fréquence
F'	Réévaluation de la fréquence
G	Niveau de Gravité
G'	Réévaluation de la gravité
C	Niveau de Criticité
C'	Reconsidération de la criticité
ERC	Évènement Redouté Central
SD	Situation Dangereuse
PhD	Phénomènes dangereux

**TPN°3 Élaboration d'une Analyse de risque par l'arbre de défaillances (AdD)**

AdD	Arbre de Défaillances
ER	Évènement redouté

**TP N°4 Élaboration d'une Analyse de risque par l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (et Criticité) : AMDE(C)**

AMDE(C)	Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (et Criticité)
PND	Niveau de Probabilité de Non Détection
D	Détection
C	Criticité
F	Fréquence
G	Gravité

**TPN°5 Élaboration d'une Analyse de risque par la HAZOP  
Cas d'une chaudière à gaz**

HAZOP	<i>HAZard and OPerability</i>
-------	-------------------------------

# TP N°1 Analyse fonctionnelle par la Structured Analysis and Design Technique (SADT)

## **1.1. But du TP**

Le but de ce TP vise à démontrer de l'utilité de l'analyse fonctionnelle d'un système, ses objectifs, et comment pouvoir l'appliquer dans le cadre d'une analyse des risques. L'autre objectif est la maîtrise de la décomposition d'un système, notamment par la *Structured Analysis and Design Technique* (SADT), pour pouvoir amorcer une analyse des risques, industriels, rigoureuse.

## **1.2. Introduction**

Un système, industriel, est souvent complexe et vaste, il contient beaucoup de sous-systèmes qui eux, à leurs tour, contiennent aussi des sous-systèmes. Approché le système dans sa globalité pour des fins d'analyse de risque représente quelques difficultés. Ainsi, le recours à une décomposition du système pourrait contribuer à sa compréhension.

Nous retrouvons dans la littérature, scientifique, plusieurs méthodes pour effectuer une décomposition. Dans le cadre de ce TP la méthode SADT sera utilisée comme outil de décomposition du système choisi par le groupe d'étudiant, préalablement, formé.

Il est noté que la SADT a pour utilité d'identifier, ordonné, hiérarchisé et valorisé toutes les fonctions d'un système pendant tout son cycle de vie. Aussi, la SADT peut être élaboré en phase conception ou en phase d'exploitation des systèmes, et ceux, selon le besoin de l'analyse des risques.

## **1.3. Équipement choisi**

Après des visites sur sites, cinq (05) systèmes sont proposés :

1. Réservoirs sous pression (sphère)
2. Réservoirs à toit flottant pour produit volatils (pétrole brut, condensat, etc.)
3. Chaudière à gaz
4. Groupe électrogène de grande capacité
5. Turbine à gaz (production de l'électricité)

Unité : **Système choisie par le groupe de TP (un système parmi les 5 proposés)**

Pour le bon déroulement du TP, 5 groupes d'étudiants (3 étudiants par groupe) peuvent être formé à raison d'un groupe d'étudiant par système.

#### **1.4. Formation d'un groupe de TP**

Dans l'industrie ou aux bureaux d'études, les analyses fonctionnelles sont menées dans le cadre de groupe de travail pluridisciplinaire. Une seule personne ne pourrait jamais identifier l'ensemble des fonctions d'un système donné.

Ainsi, tout l'intérêt réside dans le rapprochement des idées et des avis de la part des membres de groupe ayant des formations et d'expertises divers et complémentaires. Cette diversité donnera une certaine fiabilité à la décomposition.

Dans le cadre du présent TP, au sein de votre équipe, il convient de distribuer les rôles suivants (à titre d'exemple) :

- ✓ Un chef de projet (garant de l'application de la méthode SADT)
- ✓ Représentants des services techniques (production, maintenance, réparation, etc.)

#### **1.5. Aspects méthodologique**

Avant de rechercher des solutions, l'analyse fonctionnelle permet de définir de manière objective les besoins de l'utilisateur. Elle sert de référence tout au long de la conception du produit. Par ailleurs au sein d'une installation industrielle, l'analyse fonctionnelle permet, aussi, de :

- Créer une synergie autour d'un système donné ;
- Élaborer une connaissance collective ;
- Libérer la créativité des ingénieurs de l'organisation ;
- Insuffler une dynamique à l'équipe-projet.

L'analyse fonctionnelle, à partir de la décomposition, est une démarche qui «consiste à chercher et à caractériser les fonctions offertes par un système pour satisfaire les besoins de son utilisateur». Dans la littérature scientifique nous retrouvons plusieurs méthodes de décomposition fonctionnelle.

### 1.5.1. Outils d'analyses fonctionnelles

Il existe de nombreux outils classiques destinés à aider le concepteur dans la définition de la fonction et plus généralement dans l'analyse fonctionnelle. Parmi ces outils, les concepteurs utilisent particulièrement :

- **La bête à cornes**, qui permet d'aider à la recherche d'un besoin.
- **Le diagramme pieuvre**, qui aide à définir les liens entre les différentes fonctions du système et l'environnement du produit à concevoir.
- **Le cahier des charges** qui permet de lister et de décrire les fonctions (Principale, complémentaires et contraintes) d'un produit.
- **Le diagramme *Function Analysis System Technique* (FAST)** qui aide à trouver des solutions techniques pour les différentes fonctions.
- **Le diagramme *Structured Analysis and Design Technics* (SADT)** qui est une approche système d'un produit complexe.

Dans ce qui suit la méthode SADT sera présentée.

### 1.5.2. Présentation de la méthode SADT

La méthode SADT, (analyse fonctionnelle descendante), est une méthode graphique prenant comme point de départ le général pour aller au particulier. De ce fait, la SADT consiste à chercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur. Aussi, elle permet de décrire des systèmes complexes où coexistent différents flux de matière d'œuvre : systèmes automatisés, asservis ou intégrant l'informatique.

#### 1.5.2.1. Représentation des fonctions

Chaque fonction est représentée par une boîte (bloc ou module) comme le montre la Figure 1. Une boîte SADT est située dans son contexte avec les autres boîtes ou modules, par l'intermédiaire de flèches de relation. Ces flèches symbolisent les contraintes de liaisons entre boîtes. Le Tableau 1 décortique l'ensemble des éléments du système.

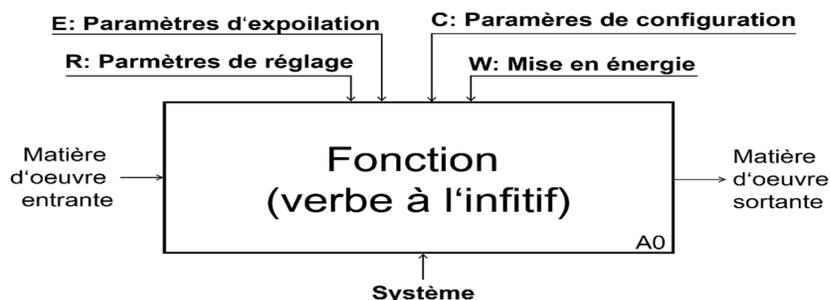


Figure 1 : Schématisation détaillée du système

Tableau 1 : Désignations des éléments du système

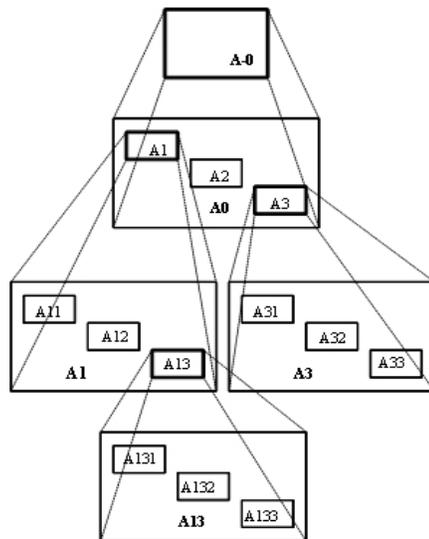
Désignations		Explications	Questions à se poser
<b>Mécanisme ou système</b>		Ce sont les éléments physiques ou technologiques qui réalisent la fonction.	<b>Quelle est la frontière du système étudié ?</b>
<b>Fonction du système</b>		Elle est caractérisée par une action sur des matières d'œuvres ou entrées. La fonction définie au niveau A-0 s'appelle fonction globale.	<b>À quoi sert le système ?</b>
<b>Matière d'œuvre</b>			
C'est l'élément sur lequel agit le système pour lui donner une valeur ajoutée. On définit la matière d'œuvre entrante (M.O.E.), avant qu'elle n'ait été transformée par le système, et la matière d'œuvre sortante (M.O.S.) après sa transformation.	Matière d'œuvre entrante (M.O.E.)	Elles sont les matières d'œuvres modifiées par la fonction considérée. Elles sont de trois types : produit (matière), énergie, information.	<b>Sur quoi agit le système ?</b>
	Matière d'œuvre sortante (M.O.S.)	Elles sont principalement les matières d'œuvres munies de leur valeur ajoutée. S'ajoutent à ces matières d'œuvres sortantes : des pertes énergétiques et des rebuts.	<b>Que fait le système à la matière d'œuvre ?</b>
<b>Données de contrôle (Contraintes de pilotage ou de commande)</b>		Ce sont les paramètres qui déclenchent ou modifient la réalisation d'une fonction. Nous retrouvons quatre catégories :  <b>C</b> : paramètre de configuration (programme). <b>R</b> : paramètre de réglage (mécanique ou électrique). <b>E</b> : données d'exploitation (On, Off/consigne de fonctionnement). <b>W</b> : Existence et type de mise en énergie	<b>De quoi le système a besoin pour fonctionner ?</b>

### 1.5.2.2. Analyse descendante

La description d'un système s'effectue sous la forme d'une suite cohérente de diagrammes :

- Comme le montre la Figure 2, le diagramme de plus haut niveau représente la finalité du système technique (fonction, rôle, etc.).

- Chaque diagramme de niveau inférieur définit les sous-fonctions du système et plus précisément leurs relations, leur agencement dans le système.



- Par convention le niveau le plus élevé porte la référence A-0 (A moins zéro). Ce niveau A-0 se décompose en n boîtes A1, A2,...An, qui constituent donc le niveau A0.

Figure 2 : Schématisation descendante

### 1.5.2.3. Avantages de la méthode

La SADT est un outil qui permet la compréhension et l'analyse de systèmes complexes et aussi un excellent outil de communication pour :

- l'équipe (les analystes de risques) : répartir le travail et coordonner les efforts ;
- le client pour une parfaite expression de ses propres besoins ;
- la hiérarchie (direction et suivi du projet) : maîtrise de la réalisation et du suivi.

La SADT permet, aussi, de se fixer sur un certain nombre de spécifications (qualité et fonctionnement, etc.)

## 1.6. Synthèse

En guise de livrable un rapport de TP sera remis comprenant :

1. Introduction ;
2. Présenter théoriquement et faite une synthèse des méthodes de décompositions des systèmes disponible dans la littérature ;
3. Présenter la méthode SADT ;
4. Appliquer la méthode SADT sur votre système ;
5. Discuter de l'utilité de la SADT lors du déroulement des méthodes d'analyse ;
6. Conclusion.

## ***Références bibliographiques***

---

- Marca, D. A. and McGowan, C. L. 1987. SADT- Structured Analysis and Design Technique, New York: McGraw-Hill Book Company.
- D. T. Ross, Structured Analysis : A language for Communicating Ideas, IEEE Transactions, Software engineering, vol. SE-3, n°1
- D. T. Ross, K. E. Schoman, Structured Analysis 9
- D. T. Ross, K. E. Schoman, Structured Analysis for Requirements Definition, IEEE Transactions, Software engineering , vol. SE-3, n°1
- IGL Technology, SADT, un langage pour communiquer, Eyrolles, 1989, 1993 (3èmeédition)
- Michel Lissandre, Maîtriser SADT, Colin, 1990
- Patrick Jaulent, Génie logiciel : les méthodes, Armand Colin, 1990

## TP N°2 Élaboration d'une Analyse de Risque par l'Analyse Préliminaire de Risques (APR)

### **1.1. But du TP**

Le but de ce TP est de comprendre et de maîtriser la démarche utilisée pour l'élaboration d'une analyse de risque en appliquant l'**Analyse Préliminaire de Risque (APR)**.

L'autre but spécifique, c'est de mettre en évidence et d'**étudier les dysfonctionnements** susceptibles d'apparaître du fait de l'existence de fonctions ou/et d'éléments dangereux **dans votre système** ou lors de son utilisation. Enfin, le but ultime étant l'analyse du risque et éventuellement sa maîtrise. Le système analysé, dans le cadre de ce TP, est celui **attribué lors du TP N°1**.

### **1.2. Introduction**

Dans la littérature, nous retrouvons un bon nombre d'outils destinés à l'identification des dangers et des risques associés à un procédé ou à une installation industrielle. Cependant, l'APR se trouve être une méthode **inductive** utilisée dans l'étape la plus préliminaire d'analyse des risques et de leurs hiérarchisations et compléter, éventuellement, par d'autres méthodes aux besoins.

Ainsi, l'APR est une méthode, d'utilisation très générale couramment, utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation industrielle. L'APR est aussi utilisée dans le cas d'une installation existante, à l'occasion d'une démarche d'analyse des risques comme c'est le cas de votre **système (selon le groupe)**, pour localiser des éléments ou des situations requérant une attention plus particulière et en conséquence l'emploi de méthodes d'analyses de risques plus détaillé. De ce fait, l'APR est une méthode ne nécessitant, généralement, pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée et de ses équipements.

### **1.3. Équipement choisi**

Unité : **Système choisie par le groupe**

Pour le bon déroulement du TP, 5 groupes peuvent être formé à raison d'un groupe d'étudiant par système.

### **1.4. Formation d'un groupe de TP**

Dans l'industrie ou aux bureaux d'études, les méthodes d'analyse des risques sont menées dans le cadre de groupe de travail pluridisciplinaire. Une seule personne ne pourrait jamais identifier l'ensemble des risques et atteindre l'objectif attendu d'une méthode d'analyse de risques donnée.

Ainsi, tout l'intérêt réside dans le rapprochement des idées et des avis de la part des membres du groupe ayant des formations et d'expertises divers et complémentaires. Cette diversité accordera une certaine fiabilité à l'analyse.

Dans le cadre de ce TP, au sein de votre équipe, il convient de distribuer les rôles suivants (à titre d'exemple) :

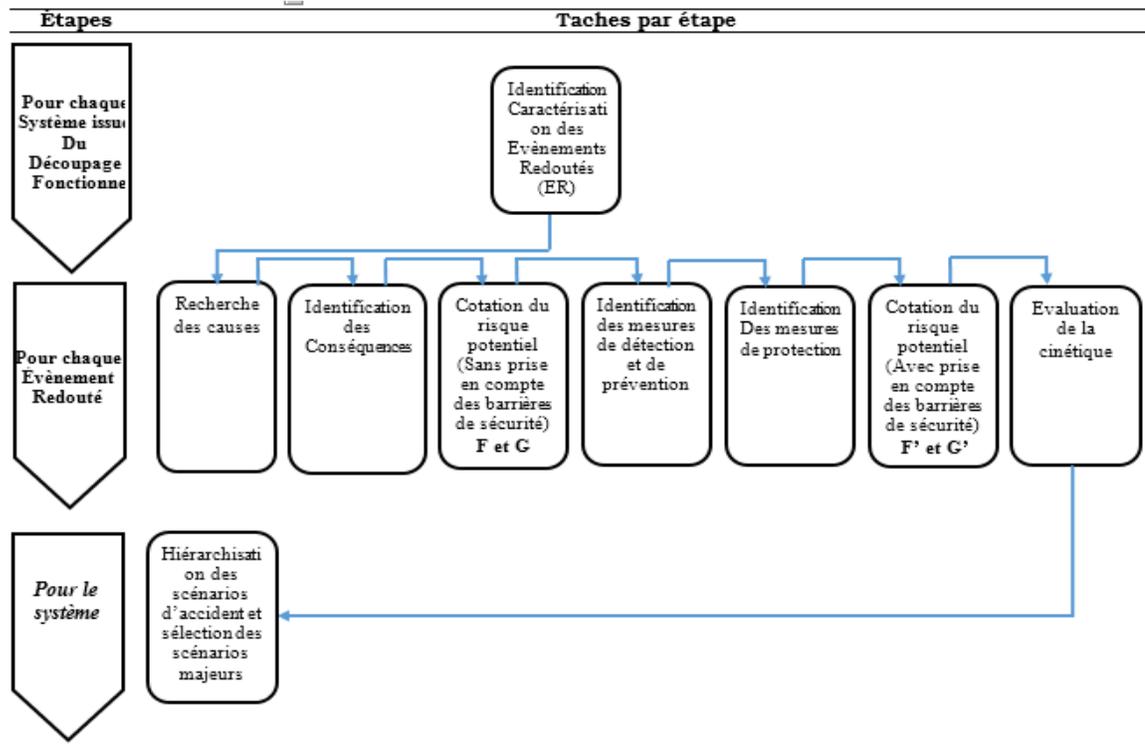
- ✓ Un chef de projet (garant de l'application de la méthode)
- ✓ Responsable de la sécurité
- ✓ Un (e) secrétaire pour la prise de note
- ✓ Représentants des services techniques
  - Maintenance
  - Réparation

### **1.5. Démarche méthodologique**

Le déroulement de l'APR peut se faire de plusieurs façons et formes. Ainsi, le Tableau 1 représente une schématisation de la démarche APR. Cependant, sous des divers aspects de l'APR, nous retrouvons systématiquement trois phases qui représentent aussi trois objectifs :

- ✓ Identification des dangers et des événements redoutés à prendre en compte ;
- ✓ Évaluation et classement des risques associés ;
- ✓ Propositions des mesures de maîtrise des risques.

Tableau 2 : Étapes de déploiement de l'APR (Benmokhtar, 2013)



### 1.5.1. Connaissances de votre système

Pour une bonne connaissance de votre système vous devez établir :

- ✓ Fonctions à remplir par votre système (Analyse fonctionnelle par SADT) ;
- ✓ Comment votre système va être utilisé (condition et profil de sa mission) ;
- ✓ Description et la délimitation de votre système (Arborescence Technique, les interfaces etc.).

L'unité : choisir le même système que celui chois lors du TP N°1 SADT :

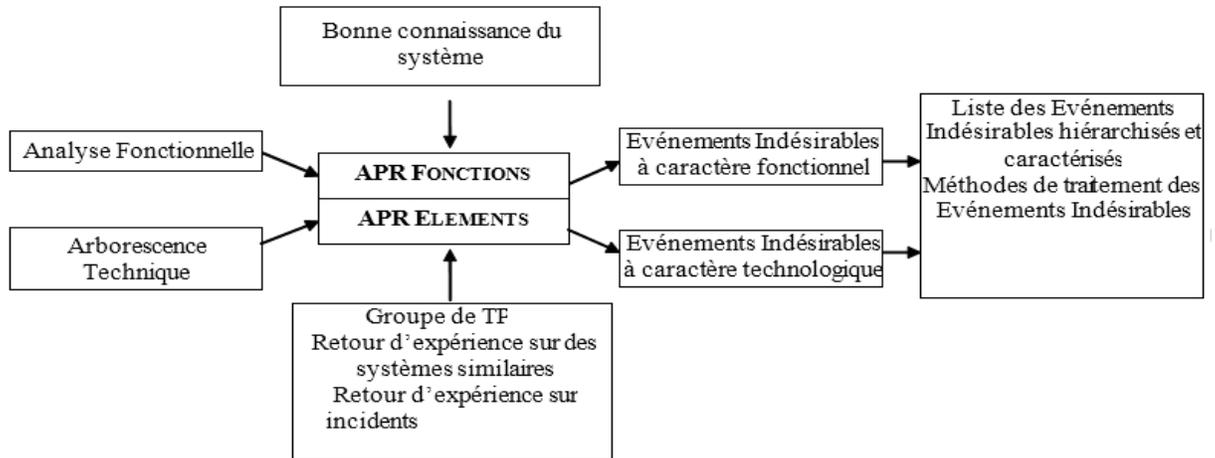


Figure 3 : Démarches d'exploration du système

### 1.5.2. *Déroulement des étapes*

1. Composer vos équipes (trois à quatre étudiants) et attribution des tâches.
2. Visiter l'emplacement de votre système et examiner son environnement.
3. Décomposer le système en fonction et en équipements ;
4. Identifier les **fonctions** potentiellement à risques, et les événements indésirable (EI)/ événements redoutés (ER) associés.
5. Identifier les **équipements** potentiellement à risques, et les EI/ER associés
6. Identifier éventuellement les **substances ou produits dangereux**, utilisées, potentiellement à risques, et les EI/ER associés.
7. Caractériser et hiérarchiser ces EI/ER en termes de scénario d'apparition et de gravité.
8. Déterminer les actions de maîtrise (traitements) adaptées à chaque EI/ER en termes de prévention et de protection

### 1.5.3. *Évaluation semi-quantitative des risques*

Dans le but d'hiérarchiser les risques préalablement identifiés et de les comparer à un niveau juger acceptable par votre groupe.

Vous devez définir tout au début de votre analyse des échelles de cotation des risques en termes de probabilité et de gravité ainsi qu'une grille de criticité explicitant les critères d'acceptabilité retenus par votre groupe.

Nous vous proposons des échelles que vous trouveriez en annexe de ce TP à savoir :

APR de la ligne de cuisson												
S/Système (SADT)	Évènements redoutés	Causes	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protection	G'	C'	Propositions Synthèse

- Échelle semi-quantitative d'occurrence
- Échelle semi-quantitative de gravité

Par ailleurs, chaque groupe aura à proposer et mettre en place une grille de criticité.

#### 1.5.4. Élaboration du tableau – APR

Pour déployer l'APR il y'a lieu de confectionner le tableau-APR en suivant les indications ci-dessous colonne par colonne. La première ligne permet de situer la partie de l'installation étudiée : dans votre cas c'est le **système préalablement choisi**.

APR du système choisi												
S/Système (SADT)	Évènements redoutés	Causes	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protection	G'	C'	Propositions Synthèse
n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10	n°1 1	n°12	n°1 3	n°1 4	n°15

- **La colonne n° 1** indique les numéros des sous/ sous-systèmes au moins trois sous-systèmes seront étudiés.
- **La colonne n°2** indique un numéro d'identification.
- **La colonne n°3** indique le sous/sous-système étudié en rapport avec le système.
- **La colonne n°4** indique l'Événement Redouté Central (ERC) (situation de danger).
- **La colonne n°5** indique l'Événement Initiateur (EI) (cause de la situation de danger). Un ERC peut avoir plusieurs Événements Initiateurs, aussi bien internes (défaillance mécanique, erreur humaine, points chauds, etc.) qu'externes (effets dominos,..).
- **La colonne n°6** indique les conséquences et les Phénomènes dangereux (PhD) (ex : explosion, incendie, dispersion, etc.) susceptibles de découler d'un ERC.
- **La colonne n°7, 8 et 9** présente la cotation du niveau de fréquence (F) et de gravité (G) des conséquences potentielles prévisibles sur les personnes (travailleurs, structures, etc.), qui résultent de l'intensité des effets du PhD et de la vulnérabilité des personnes potentiellement exposées. À noter que les cotations en G et en F des PhDs sont réalisées, dans un premier temps, sans tenir compte des **Mesures de Maîtrise des**

**Risques** disponible et en fonction. Enfin, un niveau de criticité est alors attribué.

- **La colonne n°10** indique les mesures de prévention.
- **La colonne n°11** indique la réévaluation de la fréquence F’.
- **La colonne n°12** indique les mesures de protection.
- **La colonne n°13** indique la réévaluation de la gravité G’.
- **La colonne n°14** indique une reconsidération de la criticité C’.
- **La colonne n°15** comprend les éventuelles propositions et remarques relatives au scénario considéré. Comme par exemple : la prise en compte ou non de certaines cibles, ou à la cotation en gravité. La prise en considération ou pas d’un scénario.
- **La colonne n°15** est dédiée à la synthèse.

## **1.6. Synthèse**

Un rapport de TP sera remis comprenant :

1. Introduction ;
2. Une décomposition SADT du sous-système, juste un résumé (Résultat du TP N°1) ;
3. Une grille de criticité ;
4. Un tableau synthétique : d'Analyse Préliminaire de Risques **selon le modèle** ci-joint, fourni au TP, un fichier Excel (APR) remis à titre d'exemple ;
5. La hiérarchisation et la récapitulation des scénarios d'accident et sélection des scénarios qui pourraient être **revue** en profondeur pour le déploiement, éventuel, d'autres méthodes ;
6. Écrire un à deux scénarios ;
7. Propositions d'actions portant sur les mesures de maitrises aussi bien de prévention que de protection, dans le cas où le risque n'est pas acceptable ;
8. Conclusion.

## **Références bibliographiques**

- Model d'APR de DNV.
- *S. Military Safety Program MIL-STD882D.*
- *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Second Edition with Worked Examples, American Institute of Chemical Engineers, New York, NY, 1992.*
- Norme ISO 31010:2009
- Thèse L. Gardes, Analyse des risques et état de l'art.

## ANNEXES

Tableau 1 : Échelle de fréquence

Situations	Niveaux	Commentaires
Éventualité d'apparition négligeable pendant l'intervalle de fonctionnement du système	1	Extrêmement rare
Événement non identifié dans l'établissement, mais identifié pour une activité similaire	2	Très rare
Événement déjà observé dans l'établissement, mais restant rare car des mesures préventives sont prises	3	Rare
Événement observable au moins une fois pendant l'intervalle de fonctionnement du système	4	Possible
Événement observable périodiquement pendant l'intervalle de fonctionnement du système	5	Fréquent

Tableau 2 : Échelle de gravité

Situations	Niveaux	Commentaires
N'entraînant ni accident de personne ni dommage au système. Les effets ne sont liés qu'à un retard éventuel d'exploitation.	1	Négligeable
N'entraînant ni accident de personne ni dommage important au système. Des palliatifs sont à prendre éventuellement vis-à-vis de l'exploitation de l'installation.	2	Marginal
Effets potentiels localisés sur les structures de la zone concernée. Pas d'effets sur les individus.	3	Sérieux
Effets potentiels localisés sur les structures de la zone concernée. Effets possibles sur quelques individus (blessures).	4	Très sérieux

Effets potentiels sur les structures de l'organisation et sur des ses structures externes (environnement). Effets possibles sur les individus (personnel de l'établissement et tierces personnes)	5	Majeur
---	---	--------

## TP N°3 Élaboration d'une Analyse de risque par l'Arbre de Défaillances (AdD)

### **1.1. But du TP**

Ce TP a pour objectif d'évaluer l'occurrence d'un évènement redouté (ER) pouvant surgir dans une installation industrielle tout en identifiant les causes de son apparition par l'élaboration d'une analyse de risque par l'arbre de défaillances (AdD) afin d'établir les barrières de sécurités nécessaires (préventives).

### **1.2. Introduction**

L'analyse par AdD est une méthode qui utilise une structure arborescente pour représenter les évènements élémentaires (cause de défaillance) et leurs combinaisons conduisant à l'occurrence d'un évènement redouté (ou indésirable). La combinaison des évènements élémentaires est réalisée par des portes logiques (ou/et).

Dans une démarche quantitative, cette méthode permet de quantifier la probabilité d'occurrence d'un ER et le chemin critique (chemin le plus court) conduisant à l'occurrence de cet évènement.

C'est la méthode la plus utilisée pour analyser les défaillances de systèmes complexes.

### **1.3. Équipement choisi**

Unité : **Sous-système selon votre choix, appartenant à la zone critique, abritant au moins un risque avec une criticité élevée.**

Pour le bon déroulement du TP, nous formerons cinq groupes de trois étudiants (selon la première répartition).

### **1.4. Démarche méthodologique**

L'AdD est construit en recherchant l'ensemble des événements élémentaires, ou les combinaisons d'événements, qui conduisent à un événement redouté (ER). L'objectif est de suivre une logique déductive en partant d'un événement redouté pour déterminer de manière exhaustive l'ensemble des causes jusqu'aux plus élémentaires.

Résumé de la démarche en six points :

1. Définir le **système** à étudier et ses **composants** ;
2. Choisir l'**ER** en principe déjà déduit lors du TPN<sup>02</sup> traitant de l'**APR** ;
3. Rechercher les événements élémentaires, ou leurs combinaisons qui conduisent à l'**ER** choisi ;
4. Représenter graphiquement les **liaisons** entre **les événements** ;
5. **Analyser qualitativement** : cette analyse permet de déterminer **les faiblesses** du système. Elle est faite dans le but de proposer des modifications afin d'améliorer la sécurité du système ; l'analyse des scénarios qui conduisent à un ER est faite à partir des arbres de défaillances, il est alors possible de disposer des "**barrières de sécurité/prévention**" pour éviter les incidents/accidents ;
6. Enfin, et dans une démarche quantitative, il est possible d'évaluer la probabilité d'apparition de l'**ER** connaissant la **probabilité des événements élémentaires**. Ainsi, nous pouvons déterminer d'une manière quantitative l'apparitions de l'ER en question. L'objectif est en particulier de définir la probabilité d'occurrence des divers événements analysés. Les calculs reposent sur : les équations logiques tirées de la structure de l'arbre de défaillances et des probabilités d'occurrence des événements élémentaires.

### **1.5. Application de la méthode d'AdD**

Il convient de bien connaître le système à étudier pour mener l'analyse.

#### **1.5.1. Présentation du sous-système à étudier**

- Composants du sous-système ;
- Évènements redoutés probables (un minimum de deux ER).

#### **1.5.2. Construction d'un arbre de défaillances**

La construction de l'AdD repose sur l'étude des événements entraînant un ER.

Les deux étapes suivantes sont réalisées successivement en partant de l'ER et en allant vers les événements élémentaires.

- Dans un premier temps, l'équipe de TP doit définir l'événement intermédiaire et l'événement élémentaire analysé en spécifiant précisément ce qu'il représente et dans quel contexte il peut apparaître.
- Puis représenter graphiquement les relations de cause à effet par des portes logiques (**ET**, **OU**) qui permettent de spécifier le type de combinaison entre les événements intermédiaires qui conduisent à l'ER analysé.

Pour obtenir une bonne AdD les groupes de TP peuvent suivre les étapes suivantes :

- Expliciter les faits et noter comment et quand ils se produisent pour l'ER et pour les **événements intermédiaires**.
- Effectuer un classement des événements :
  - ✓ Événement élémentaire représentant la défaillance d'un composant (défaillance première, défaillance de commande).
  - ✓ Événements intermédiaires provenant d'une défaillance de composant.
- Rechercher les " causes immédiates " de l'apparition de chaque événement intermédiaire afin d'éviter l'oubli d'une branche.
- Éviter les connexions directes entre portes car elles sont en général dues à une mauvaise compréhension du système ou une analyse trop superficielle.
- Supprimer les incohérences comme par exemple : un événement qui est à la fois cause et conséquence d'un autre événement.

## **1.6. Synthèse**

Un rapport de TP sera remis comprenant :

1. Introduction ;
2. Un Arbre de Défaillances (AdD) pour les deux ERs ;
3. Réduire l'AdD obtenu et déterminer les coupes minimales ;
4. Discuter le traitement de l'ER pour proposer les barrières de sécurité nécessaires ;
5. Conclusion et recommandations.

## Références bibliographiques

---

- *Sûreté de fonctionnement Claire Pagetti – ENSEEIHT décembre 2012 ;*
- *Arbres de défaillances David Delahaye 2009-2010.*
- *Défaillance de systèmes Nicolas ROLIN juin 2010.*
- *Dynamic fault trees: à library for altarica next generation PERROT Benoît, 2010.*
- *Sécurité des outils, des machines et des procédés, 2011.*
- *La gestion des risques techniques (Sûreté de Fonctionnement) et des risques de management A. Heurtel, 2003.*
- *Formalisation de la cohérence et calcul des séquences découpe minimales pour les systèmes binaires dynamiques réparables. Thèse de Doctorat, 2013.*
- *B. DEBRAY, S. CHAUMETTE, S. DESCOURIERE, et V. TROMMETER, « Omega 7 - Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle », Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), oct. 2006.*
- *SIGNORET Jean-Pierre, « Arbre de défaillance Contexte booléen, analyse et bases mathématiques », no ref. article : SE4052, p. 24, déc. 2017.*

**ANNEXES**

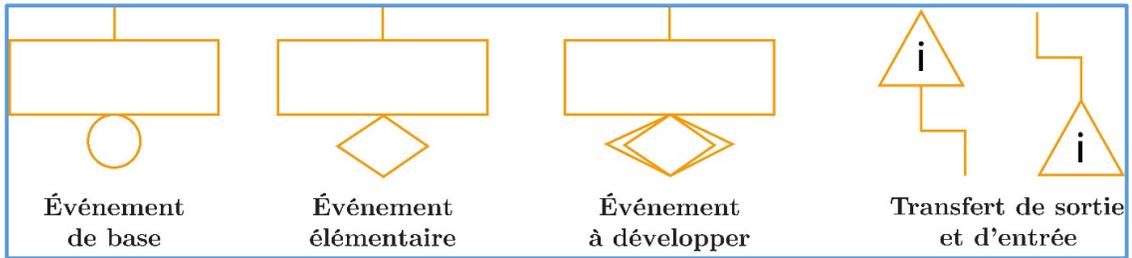


Figure 1 : Symboles des événements

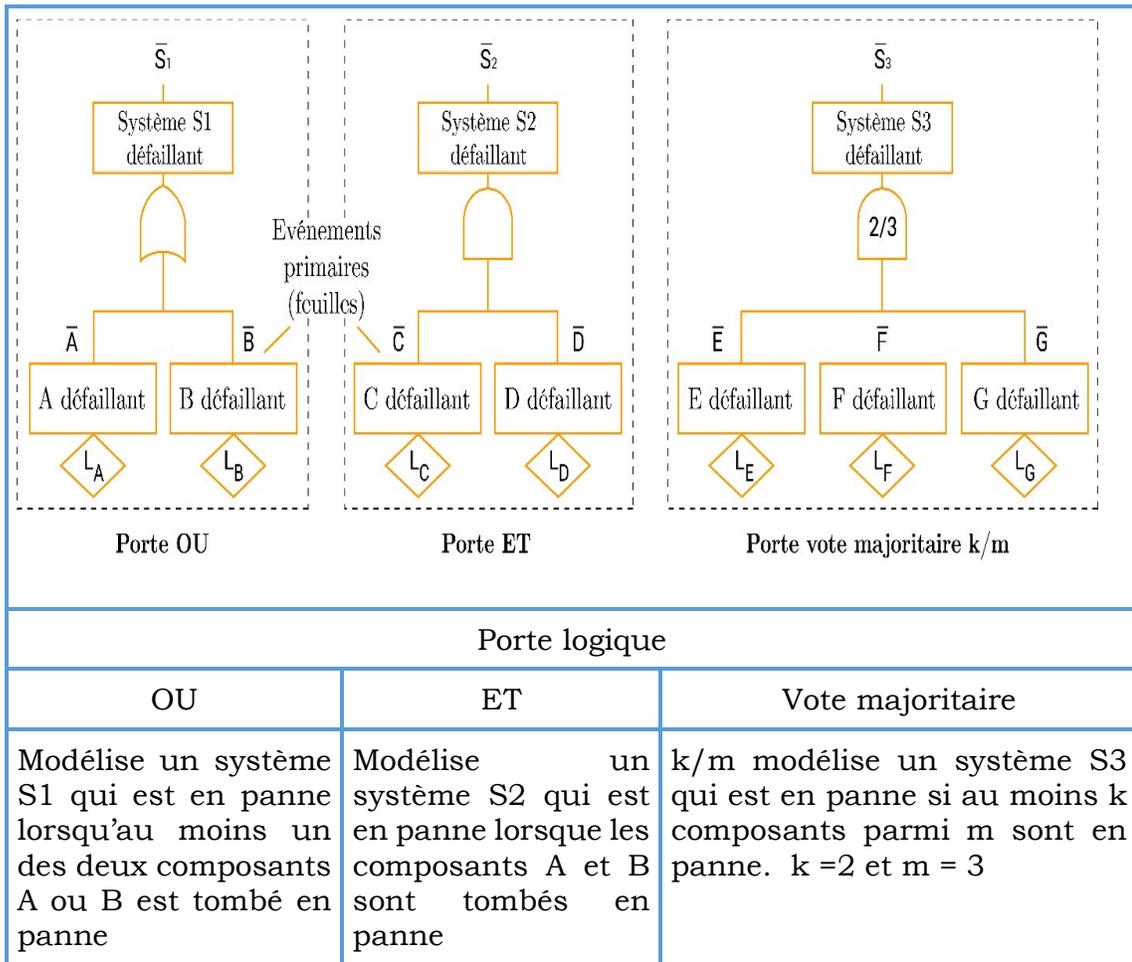


Figure 2 : Portes logiques

## TP N°4 Élaboration d'une analyse de risque par l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (et Criticité) : AMDE(C)

### 1.1. *But du TP*

L'objectif de ce TP est la maîtrise de la méthode d'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (et Criticité) AMDE(C), cette dernière permet d'identifier les dysfonctionnements, potentiels ou déjà constatés, dans le système et à mettre en évidence les points critiques (au niveau composant) et à proposer des actions correctives.

### 1.2. *Introduction*

L'AMDE(C) est une méthode, **inductive**, d'analyse de système utilisée pour l'étude systématique des causes et la **maîtrise** des effets de défaillances susceptibles d'affecter les composants de ce système.

L'AMDE(C) permet d'identifier les faiblesses potentielles du système : modes vraisemblables (possible) de défaillance, causes possibles pour chaque mode, effets de chaque défaillance selon la phase de la **mission**.

L'AMDE(C) permet, également, de définir et de mettre en place des actions préventives et/ou correctives tout au long du cycle de vie du produit, ainsi que la mise en place de **procédures d'exploitation**, d'utilisation et de maintenance.

### 1.3. *Équipement choisi*

Pour le bon déroulement du TP, 5 groupes seront formés. Chaque groupe doit choisir minimum 2 sous-systèmes. Ces derniers font partie du système choisi dans les premiers TPs

1. Au minimum deux (2) Sous-systèmes sont à choisir :

Sous-système 1 :

Sous-système 2 :

2. Mode de fonctionnement :
3. Objectifs (sécurité et disponibilité du système)

## 1.4. Démarche méthodologique

En règle générale, une AMDEC est réalisée à la suite d'une première analyse des risques menée à l'aide d'outils plus simples comme l'APR. Pour ce faire nous vous proposons la démarche suivante :

### 1.4.1. Étape 1 : Préparation de l'Analyse

Le but de cette étape est de poser le problème, de définir les objectifs, le contenu et les limites de l'étude à mener pour cela il faut :

- 1- Définir les deux sous- systèmes à étudier et leurs limites matérielles ceci revient à choisir tous les composants appartenant à un sous-système donné.
2. Définir la phase de fonctionnement pour laquelle l'analyse sera déployée.
3. Définir les objectifs à atteindre (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité,...).

### 1.4.2. Étape 2 : Décomposition fonctionnelle

Le but de cette étape est d'identifié les éléments à étudier et les fonctions à assurer. La Figure 4 met en évidence l'état de fonctionnement et de dysfonctionnement.

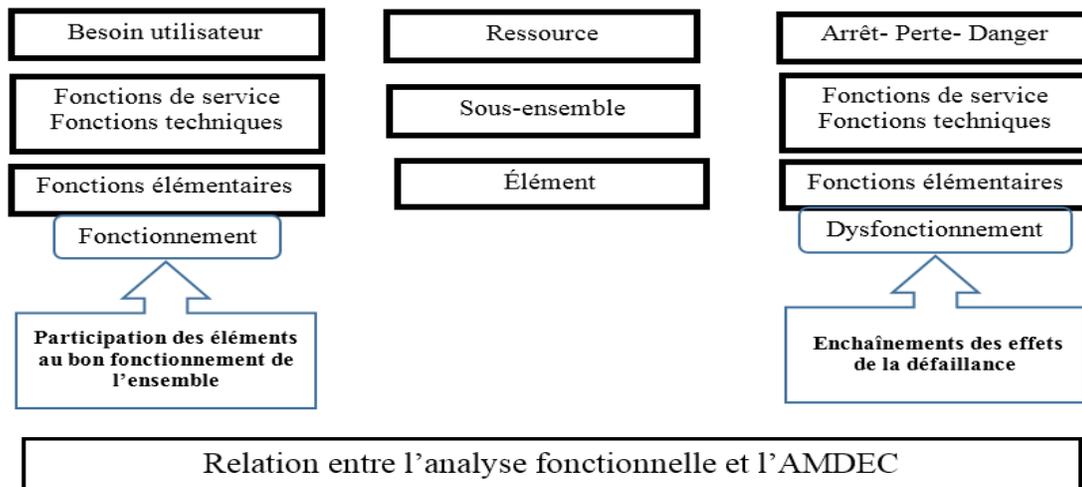


Figure 4 : Fonctionnement d'un système

### 1.4.3. Étape 3 : Lancement de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode d'analyse ayant comme but l'identification des dysfonctionnements, potentiels ou déjà constatés, du système et à mettre en évidence les points critiques et à la proposition des actions correctives.



## **1.5. Synthèse**

Un rapport de TP sera remis comprenant :

1. Introduction ;
2. Un tableau d'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) de vos S/Système ;
3. Hiérarchisation des défaillances ;
4. Liste des points critiques (par sous-système) ;
5. Votre conclusion et vos recommandations (mesures) pour assurer un bon fonctionnement de votre système (toutes les actions sont les bienvenues : de maintenance, fiabilité, sécurité, etc....).

## **Références bibliographiques**

---

- Module de sureté de fonctionnement Claire Pagetti- ENSEEIHT décembre 2012 ;
- Arbres de Défaillances David Delahaye 2009-2010 ;
- Dynamic fault trees: a library for Altarica next generation PERROT Benoît, 2010;
- Jean Claude Couronneau, mise en œuvre de la nouvelle approche d'analyse des risques dans les installations classées, juin 2003) ;
- Sécurité des outils, des machines et des procédés, 2011 ;
- La gestion des risques techniques (Sûreté de Fonctionnement) et des risques de management A. Heurtel, 2003.

## ANNEXES

Tableau 1 : Échelle de gravité des effets de la défaillance (G)

Niveau	Valeur	Définition
Mineure	1	La défaillance arrête le composant mais pas l'installation qui continue à fonctionner en mode dégradé
Moyenne	2	La défaillance arrête l'équipement mais pas la production qui continue à fonctionner en mode dégradé
Majeure	3	La défaillance arrête la production et nécessite une intervention de maintenance
Important	4	La défaillance arrête la production impliquant des problèmes graves pour les hommes ou l'installation

Tableau 2 : Échelle de fréquence d'apparition de la défaillance (F)

Niveau	Valeur	Définition
Exceptionnel	1	Pas de mémoire de participant
Rare	2	Cela est déjà arrivé 1 ou 2 fois
Fréquent	3	Cela est déjà arrivé plusieurs fois
Certain	4	Cela arrivera à coup sûr

Tableau 3 : Échelle de capacité de détection de la défaillance (D)

Niveau	Valeur	Définition
Évident	1	Détection certaine
Possible	2	Détectable par l'opérateur
Improbable	3	Difficilement détectables
Impossible	4	Indétectable

# TP N°5 Élaboration d'une Analyse de risque par la HAZOP. Cas d'une chaudière à gaz

## **1.1. But du TP**

Ce TP a pour objectif d'identifier les dangers potentiels d'un système thermo-fluide et d'évaluer les éventuels risques, d'exploitation, pour répondre à un niveau d'exigence. Ce dernier portera sur l'amélioration de la sécurité des process afin d'éviter l'apparition d'événements non souhaités.

## **1.2. Introduction**

L'analyse des risques d'un process industriel est un point capital lors de la mise au point d'un nouveau procédé, de la conception d'une nouvelle installation ou la modification d'une installation existante. Ainsi, de la qualité de l'analyse, dépend la pérennité d'un procédé, d'une installation industrielle, voire une organisation.

La méthode d'analyse HAZard OPerability (HAZOP) est établie sur les problématiques des installations industrielles dans les secteurs chimique et pétrochimique, notamment des secteurs considérés comme "à haut risque" ou présentant des caractéristiques de danger semblables comme les industries pétrolières, nucléaires, alimentaires ou encore les transports.

## **1.3. Équipement choisi**

Unité : **Chaudière à gaz de l'ENP (à titre d'exemple).**

Nous aurons à choisir les deux systèmes suivants :

- ✓ **Système de circuit fermé d'eau ;**
- ✓ **Système d'alimentation en gaz.**

Pour le bon déroulement du TP, Nous formerons cinq groupes.

## **1.4. Démarche méthodologique**

La méthode HAZOP consiste en une analyse détaillée des problèmes de risque en opération conduite par une équipe de projet. Cette méthode permet d'identifier rapidement les principaux risques et les principales déviations de fonctionnement inhérents au design de l'installation. Cette

identification tôt dans la vie d'un projet permettra des corrections rapides de la conception et des modes d'utilisation prévus par les concepteurs.

Les principaux avantages de la méthode sont :

- ✓ Un examen systématique de l'installation ;
- ✓ L'utilisation d'un guide (check-list) adapté aux installations (systèmes) examinées ;
- ✓ La facilité de fédérer plusieurs spécialistes de disciplines différentes ;
- ✓ La création d'un climat d'analyse dédramatisé face aux conséquences, parfois extrêmes, des risques encourus.

Par contre, l'analyse HAZOP repose sur les qualifications et l'expérience des spécialistes des diverses disciplines, qui doivent faire preuve d'intuition et de perspicacité.

La méthode HAZOP comporte quatre phases essentielles présentées dans les organigrammes de la Figure 5 et la Figure 6.

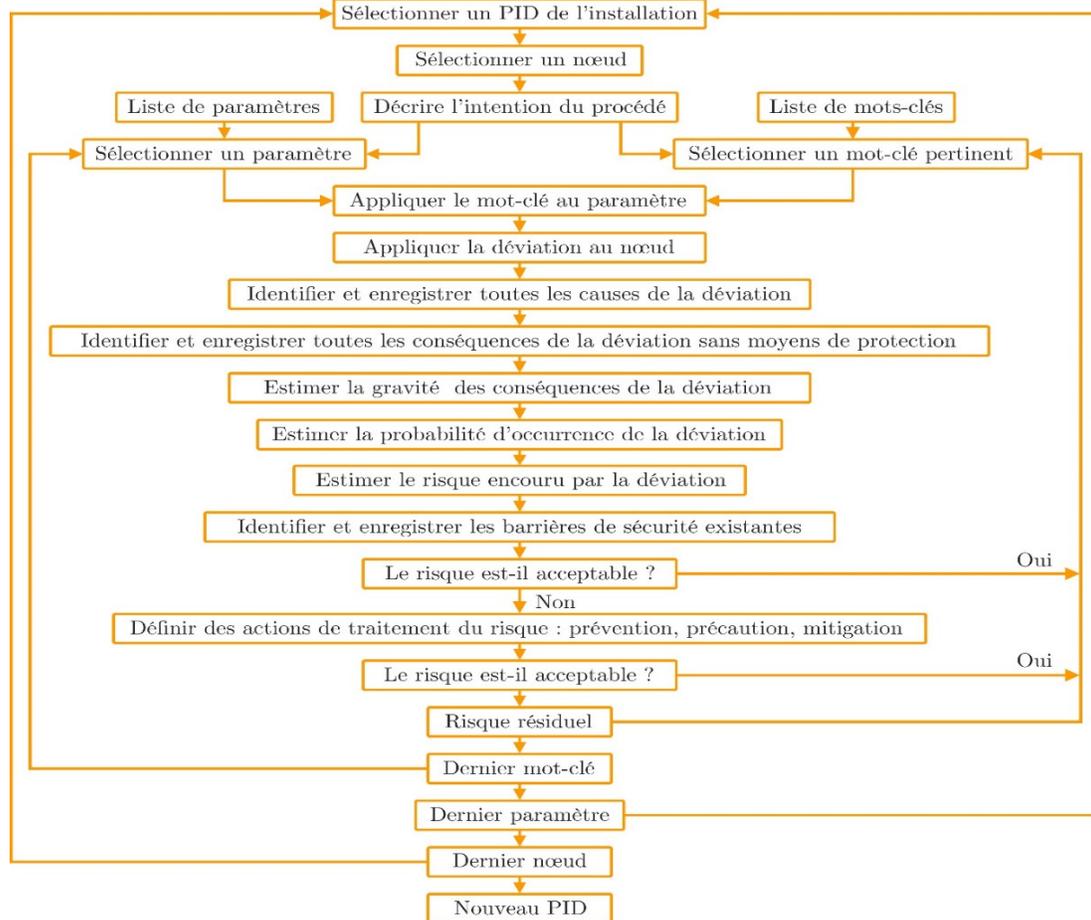


Figure 5 : Déploiement de la HAZOP

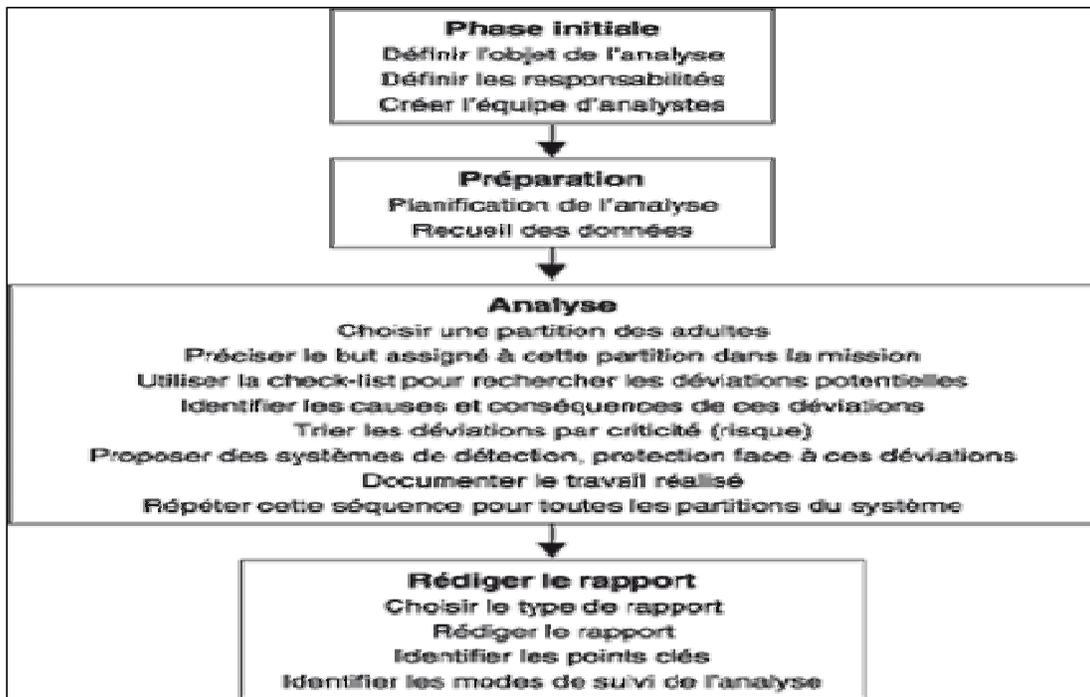


Figure 6 : Phases de la HAZOP

Le principe de l'HAZOP est d'associer des mots-clés à des paramètres relatifs à l'installation étudiée pour ainsi déceler (exprimer) des dérives.

#### 1.4.1. Phase préparatoire

Le système sera divisé en sous-systèmes appelés "nœuds", l'installation examinée sera appelée "ligne" ou "maille".

L'équipe de travail constituée doit être pluridisciplinaire et doit parfaitement connaître et maîtriser le nœud et ses lignes/mailles. Elle délimitera les contours du système et en dégagera les objectifs.

#### 1.4.2. Générer les dérives potentielles

Afin de générer efficacement des dérives potentielles, la méthode HAZOP prévoit d'associer des mots-clés (qui seront représentatifs des types de déviation possible du système sous la forme de propositions conditionnelles) à tous les paramètres pouvant interagir sur la sécurité du système.

L'équipe de travail sélectionne un paramètre de fonctionnement de l'exploitation (ex. la température, le temps, la pression, le débit...) ; choisi un mot-clé définissant une déviation. C'est la combinaison du mot-clé et du paramètre qui constitue la dérive.

Par exemple le paramètre " Pression ", associé au mot-clé de déviance "Supérieur à" et une valeur limite, exprime un risque d'une surpression. L'équipe fixe la liste des dérives plausibles issues des combinaisons paramètres mots-clés pour déclencher l'analyse des causes et conséquences potentielles.

#### **1.4.3. Identifier les causes et les conséquences potentielles**

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

#### **1.4.4. Identifier les moyens de détection et de prévention**

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

#### **1.4.5. Émettre des recommandations**

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

#### **1.4.6. Rechercher les dérives jusqu'à épuisement des risques**

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

Afin de faciliter la lecture et l'enregistrement des informations, les résultats de cette analyse sont généralement repris sous la forme du Tableau 4 :

Tableau 4 : Illustration de la HAZOP

<b>Unité /Opération : Ligne / Équipement</b>							
Mot-clé	Déviations/ paramètre	Causes	Conséquences	Détection	Sécurités Existantes	Proposition d'amélioration	Observations

## **1.5. Synthèse**

Un rapport de TP sera remis comprenant :

1. Introduction ;
2. Un tableau synthétique : Étude de sécurité sur schéma de circulation des fluides ;

3. Justifier le système critique et le paramètre le plus sensible dans chaque système ;
4. Vos recommandations pour contrôler les paramètres sensibles.
5. Conclusion.

### **Références bibliographiques**

---

- *Loss prevention.*
- *Imperial Chemical Industries (ICI). Techniques-ingénieur, HAZOP une méthode d'analyse des risques.*
- *M. ROYER, « HAZOP : une méthode d'analyse des risques Principe », Techniques de l'ingénieur Méthodes d'analyse des risques, vol. base documentaire : TIB155DUO, no ref. article : SE4031, p. 25, avr. 2009.*
- *M. ROYER, « HAZOP : une méthode d'analyse des risques Mise en œuvre », Techniques de l'ingénieur Méthodes d'analyse des risques, vol. base documentaire : TIB155DUO, no ref. article : SE4032, p. 13, juill. 2009.*

## ANNEXES

### 1. Mots-clés

Les mots-clés dont l'usage est particulièrement courant (selon la norme CEI 61882) sont donnés dans le Tableau 1 :

Tableau 1 : Type de déviation et mot-clé

Type de déviation	Mot-clé	Interprétation
Négative	Ne pas faire ou pas	Aucune partie de l'intention n'est remplie
Modification quantitative	Plus	Augmentation quantitative
	Moins	Diminution quantitative
Modification qualitative	En plus de	Présence d'impuretés -Exécution simultanée d'une autre opération/étape
	Partie de	Une partie seulement de l'intention est réalisée
Substitution	Inverse	S'applique à l'inversion de l'écoulement dans les canalisations ou à l'inversion des réactions chimiques
	Autre que	Un résultat différent de l'intention originale est obtenu
Temps	Plus tôt	Un événement se produit avant l'heure prévue
	Plus tard	Un événement se produit après l'heure prévue
Ordre séquence	Avant	Un événement se produit trop tôt dans une séquence
	Après	Un événement se produit trop tard dans une séquence

### 2. Paramètres

Souvent les paramètres sur lesquels porte l'analyse sont :

La température, La concentration, La pression, Le débit, La composition, Le niveau, etc...). D'autres paramètres peuvent être utilisés comme le montre le Tableau 2.

Tableau 2 : Exemple de paramètres de la méthode HAZOP

Grandeurs physiques mesurables		Opérations à réaliser		Actions à réaliser	Fonctions-situations
Température	PH	Chargement	Contrôle	Démarre	Protection
Pression	Intensité	Dilution	Séparation	Échantillonner	Fuite
Niveau	Vitesse	Chauffage	Refroidissement	Arrête	Défaut d'utilités
Débit	Fréquence	Agitation	Transfert	Isoler	Gel
Concentration	Quantité	Mélange	Maintenance	Purger	Séisme
Contamination	Temps	Réaction	Corrosion	Fermer	Malveillance