

## **IV.1.Introduction**

Le but de ce chapitre est de fournir un outil d'analyse des risques suivant la méthode MOSAR. Nous allons, en imaginant des scénarios aboutissant à des événements non souhaités, commencer par présenter le cadre de l'installation et ses objectifs.

## **IV.2. Description de la turbine à gaz TORNADO**

### **IV.2.1. Généralités**

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne. De tous les points de vue, elle peut être considérée comme un système auto-suffisant; elle aspire et comprime l'air atmosphérique dans son compresseur axial. Elle augmente la puissance énergétique de l'air comprimé dans sa chambre de combustion, en utilisant la chaleur dégagée par la combustion, puis convertie cette puissance thermique en énergie mécanique utile pendant le processus de détente qui a lieu dans la section turbine.

L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice qui peut-être une pompe, un compresseur, un alternateur, ou autre.

### **IV.2.2. Principaux composants de la turbine**

Les principaux composants d'une turbine à gaz TORNADO sont :

- La partie auxiliaire ;
- Section de compression ;
- Le système de combustion (ensemble des chambres de combustion) ;
- Section turbine (Haut Pression HP et Basse Pression BP) ;
- Système de contrôle et de protection. [10] (voir annexe F)

### **IV.2.3. Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz type TORNADO**

Le rotor haut pression est tout d'abord lancé à 20% de sa vitesse nominale par un dispositif de démarrage (moteur de lancement). Le fonctionnement de la turbine est basé sur la circulation de l'air à l'intérieur de celui-ci. Le compresseur axial aspire à travers les aubes directrices à l'admission de l'air atmosphérique qui sera porté à une haute pression. L'air est mélangé avec du gaz à l'intérieur des chambres de combustion où sera brûlé le mélange.

Les gaz chauds résultants de cette combustion sont acheminés vers la roue HP. La détente de ces gaz chauds à haute pression produit le travail nécessaire pour l'entraînement de la

roue HP et par la suite le compresseur axial. Les gaz détendus sont véhiculés vers la roue BP où ils subissent une autre détente ce qui produit l'énergie nécessaire et suffisante pour l'entraînement de la roue BP et pour la suite de l'entraînement de la pompe centrifuge. [11] (voir annexe E)

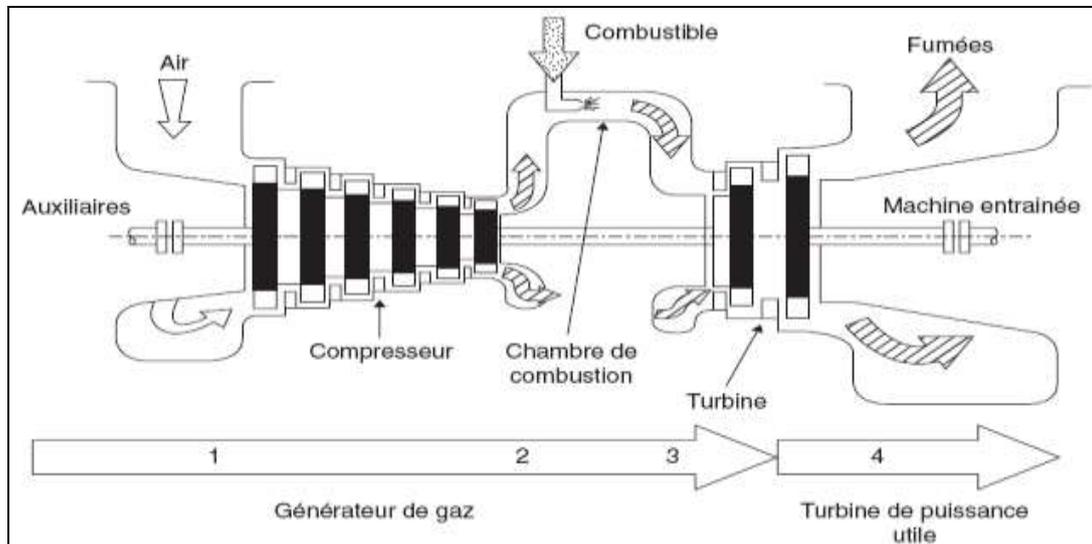


Figure IV.1: Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz.

### IV.3. MADS

Elle se fait en utilisant un modèle général développé par ailleurs et appelé MADS (Méthodologie de Dysfonctionnement des Systèmes) représenté ci-après.

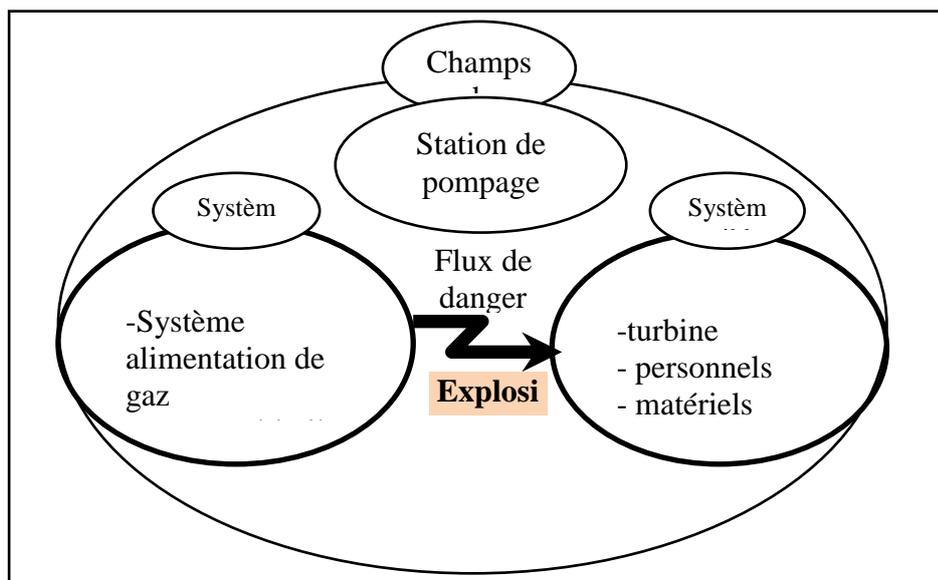


Figure IV.2 : Le modèle MADS.

### IV.3.1. Etape préliminaire : Modélisation du système et sa décomposition en sous-systèmes

Dans le cas de turbine à gaz nous avons les sous-systèmes suivants :

**SS<sub>1</sub>: Circuit de ventilation ;**

**SS<sub>2</sub>: Circuit d'huile ;**

**SS<sub>3</sub>: Circuit de vapeur ;**

**SS<sub>4</sub>: Système de détection ;**

**SS<sub>5</sub>: Pompe ;**

**SS<sub>6</sub>: Opérateur humain ;**

**SS<sub>7</sub>: Environnement.**

Dans les sous-systèmes nous incluons aussi :

- Les individus présents dans les locaux ;
- Les personnes responsables de la prise de décisions.

Après avoir choisi le système à étudier, on le décompose en sous-systèmes de manière fonctionnelle. On étudie ensuite les interactions entre ces sous-systèmes et le sous-système opérateur humain et le sous-système environnement.

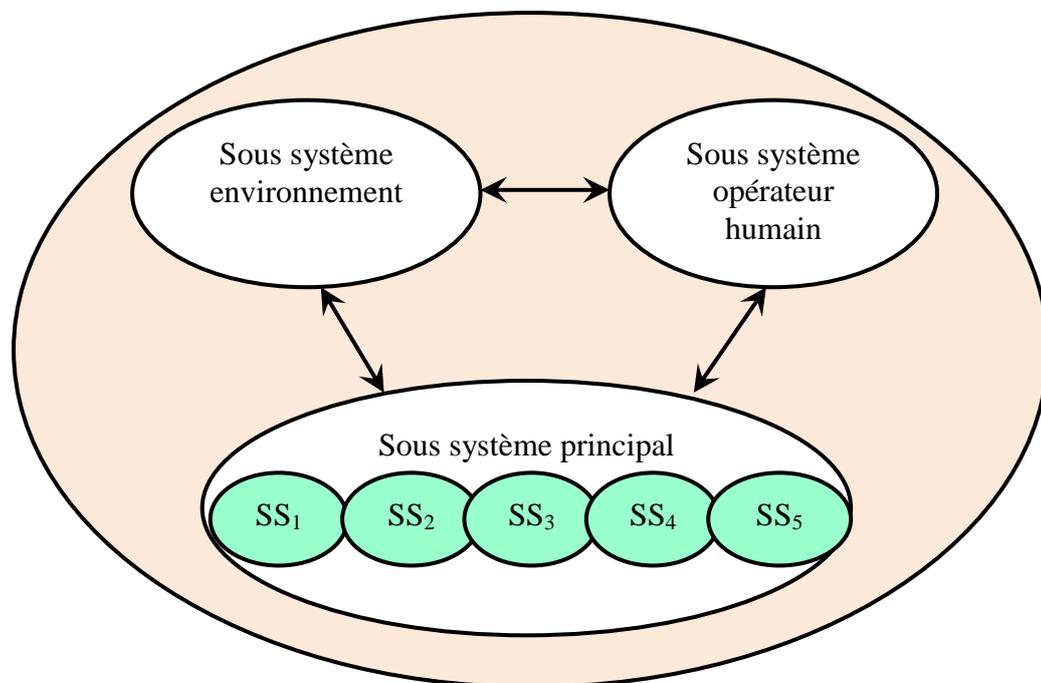


Figure IV.3: Décomposition du système en sous-systèmes

✓ **1<sup>ère</sup> étape du module A : Identification des sources de danger.**

Consiste en l'identification des sources de danger et des processus de danger de chaque sous-système, ou bien identifier en quoi chaque sous-système peut être source de danger. En faisant cette identification pour tous les sous-systèmes. Ce qui permet d'établir le tableau A suivant :

**Tableau IV.1 : Identification de la source des dangers.**

Tableau A				
Types de Systèmes Sources de Danger	Phase de vie	Evénements initiateurs	Evénements initiaux	Evénements Principaux
<b>Circuit de Ventilation</b>	Ex	-Débit d'air insuffisant -Arrêt de ventilation (extracteurs) -Fuite d'air -OBSTRUCTION des filtres	-Augmentation de température de la turbine -Accumulation de gaz dans le package	-Incendie -Explosion -Détérioration des instruments de la turbine
<b>Circuit d'huile</b>	Ex	-Colmatage du filtre -Panne des aéro-réfrigérants -Mauvaise qualité d'huile -Fuite d'huile -Panne de pompe d'huile -Mauvaise filtration d'huile	-Fuite d'huile -Augmentation de température d'huile -Présence des impuretés dans l'huile - Chute de pression d'huile	-Incendie -Détérioration de turbine
<b>Circuit de gaz</b>	Ex	-Fissure dans les conduites de gaz -Corrosion -Défaut des vannes	-Fuite de gaz	-Explosion
<b>Système de Détection</b>	Ex	-Défaut des détecteurs - Encrassement des détecteurs -Défaut de communication	-Mauvaise détection -Détection intempestif -Pas de détection	-Incendie -Explosion
<b>Pompe</b>	Ex	-Fissure -Vibration -Non étanchéité de garniture	-Fuite de brut -Fuite d'huile	-Incendie -Pollution du sol
<b>Opérateur</b>	Ex	-Stress -Fatigue -Maladresse -Malveillance -Manque de formation -Absence de consignes	-Geste maladroit -Aggravation de la situation -Panique -Erreur d'exploitation -Mauvaise manutention	- Blessures -Asphyxie -Décès
<b>Environnement</b>	Ex	-Vent de sable - Vent -Fuite au niveau de skid gaz -Déversement de brut du hors de bac	-Mauvaise détection des gaz -Atmosphère explosive	-Incendie -Explosion

✓ **2<sup>ème</sup> étape du module A : Identification des scénarios de danger.**

En reprenant chaque sous-système dans le **tableau A**, on les représente sous forme de boîtes noires, dont les entrées sont les événements initiateurs et les sorties sont les événements principaux.



Figure : IV.4 : les évènements initiateurs et les évènements principaux

Ce travail est une simple compilation du **tableau A**. Pour notre système on obtient les boîtes noires, présentées comme suit :

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accumulation des gaz;</li> <li>- Fuite d'air;</li> <li>- Débit d'air insuffisant;</li> <li>- Obstruction des filtres;</li> <li>- Arrêt de ventilation.</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>Circuit de ventilation</b></p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explosion, incendie ;</li> <li>- Détérioration des instruments de la turbine;</li> <li>- Augmentation de température de la turbine;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chute de pression d'huile;</li> <li>- Présence des impuretés dans l'huile;</li> <li>- Panne aero réfrigérants;</li> <li>- Mauvaise qualité d'huile;</li> <li>- Colmatage du filtre;</li> <li>- Fuite d'huile;</li> <li>- Panne de pompe d'huile;</li> <li>- Mauvaise filtration d'huile.</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>Circuit d'huile</b></p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incendie ;</li> <li>- détérioration de turbine;</li> <li>- augmentation de température de la turbine;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissure dans les conduits de gaz;</li> <li>- Corrosion;</li> <li>- Défaut des vannes;</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>Système de gaz</b></p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuit de gaz ;</li> <li>- Explosion;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Défaut des détecteurs ;</li> <li>- Encrassement des détecteurs ;</li> <li>- Défaut de communication ;</li> <li>- Mauvaise détection de gaz ;</li> <li>- Pas de détection.</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>System de détection</b></p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incendie ;</li> <li>- Explosion</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Défaut de garniture;</li> <li>-Fissure;</li> <li>-Corrosion;</li> <li>-Fuit de brut;</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>Pompe</b></p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incendie ;</li> <li>-Pollution de sol;</li> </ul>

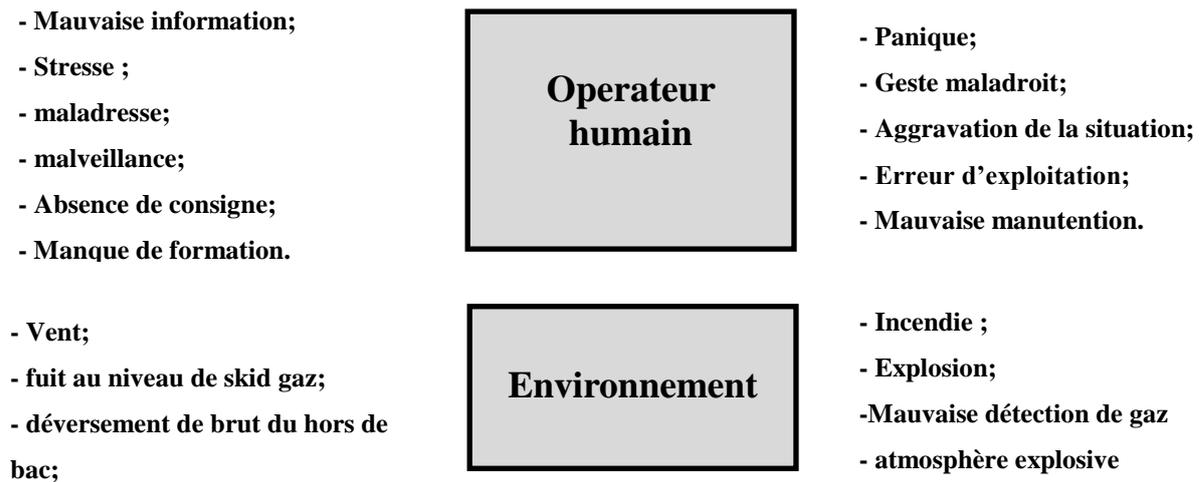
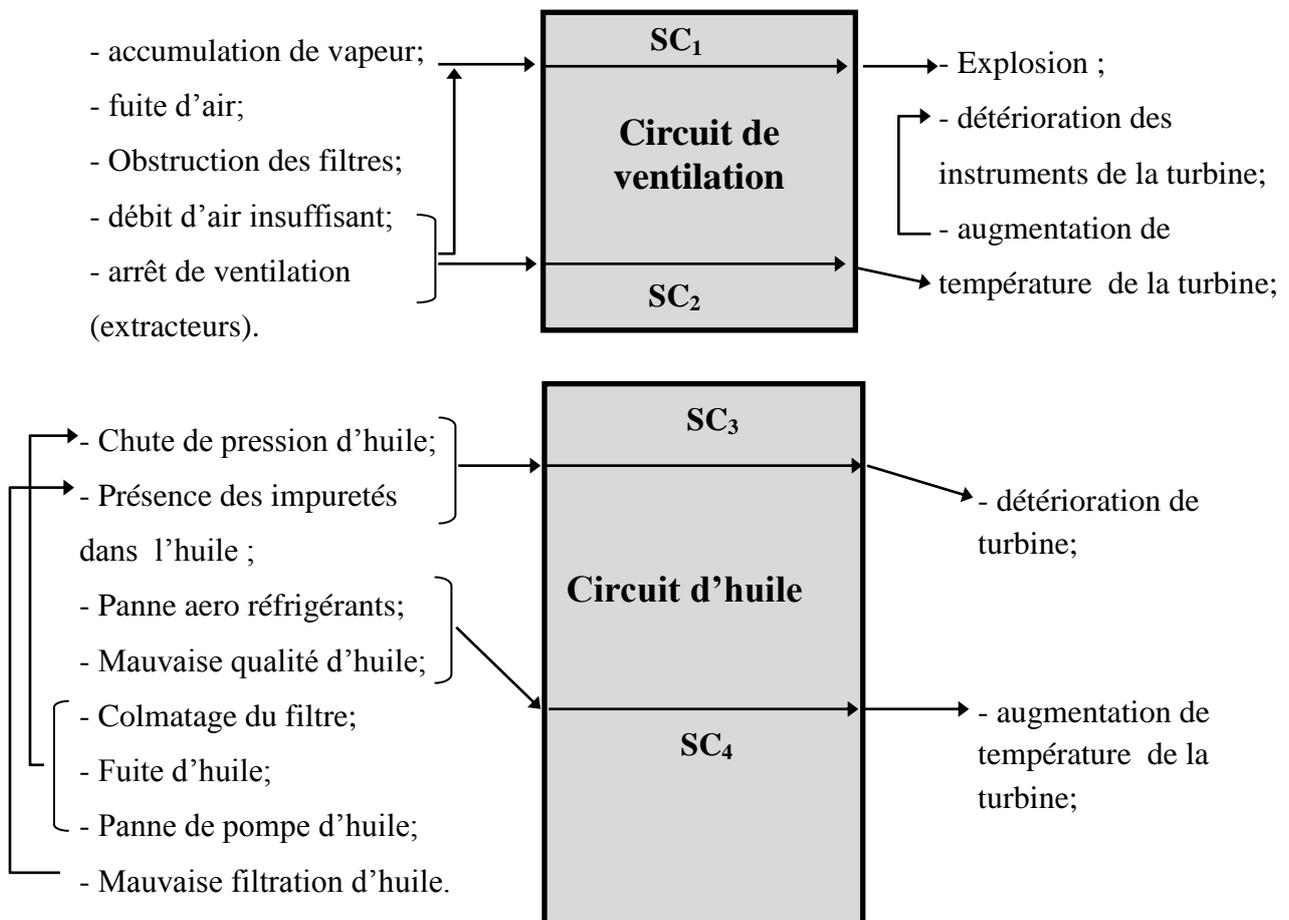


Figure IV.5 : Identification des scénarios de danger.

On doit ensuite, faire la génération de scénarios courts et de scénarios d'autodestruction. On combine les événements d'entrée entre eux et les événements de sortie entre eux, puis on identifie les retours en bouclage des événements de sortie et des événements d'entrée



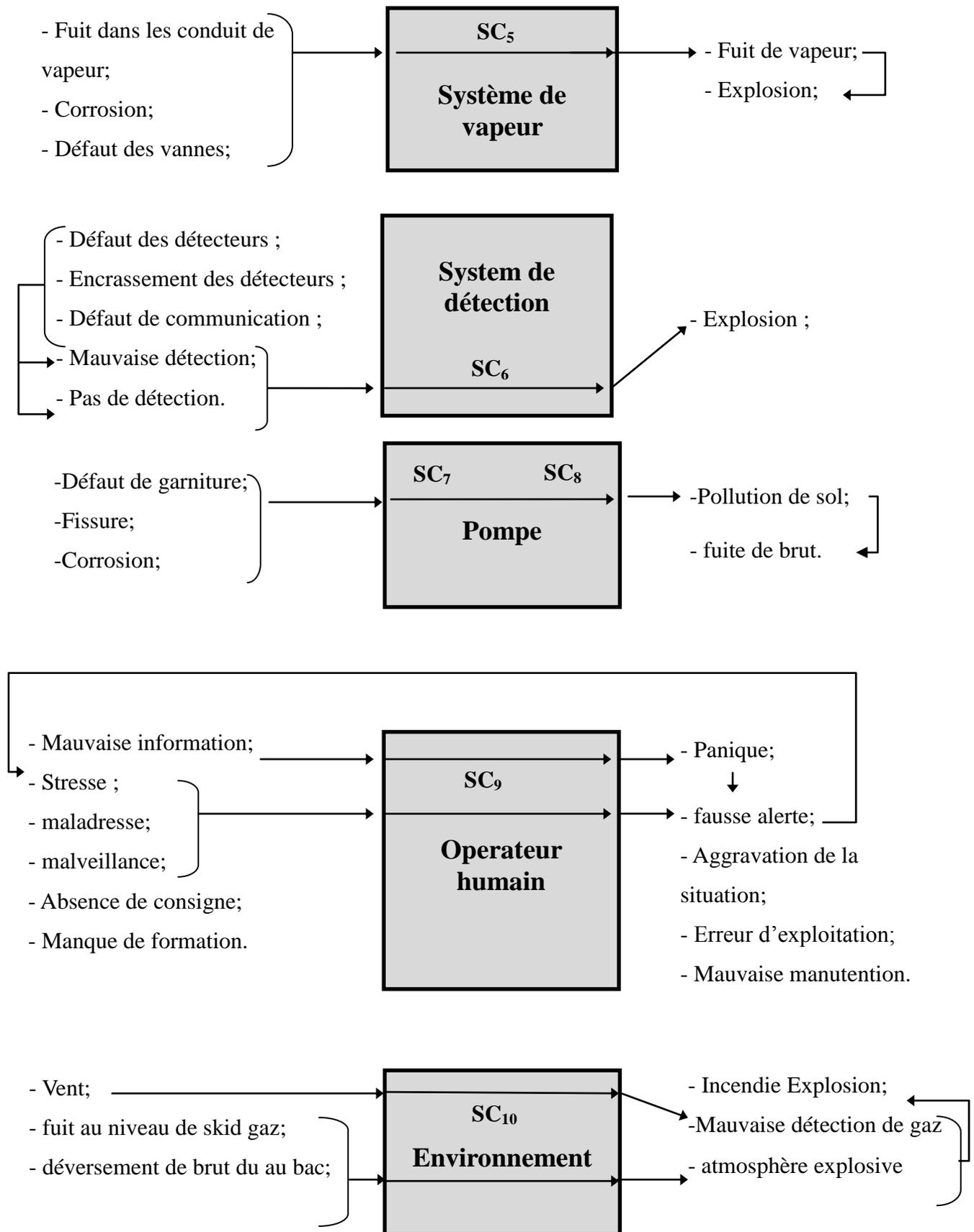


Figure IV.6 : Identification de retour.

On peut présenter les scénarios de la manière suivante :

✓ **Scenario 1 :**

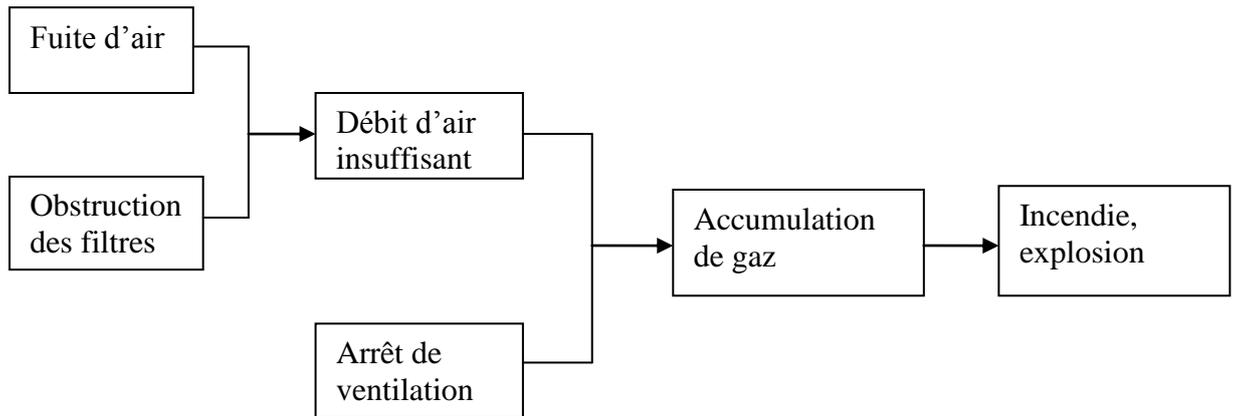


Figure IV.7 : Représentation du scénario 1.

✓ **Scenario 2 :**

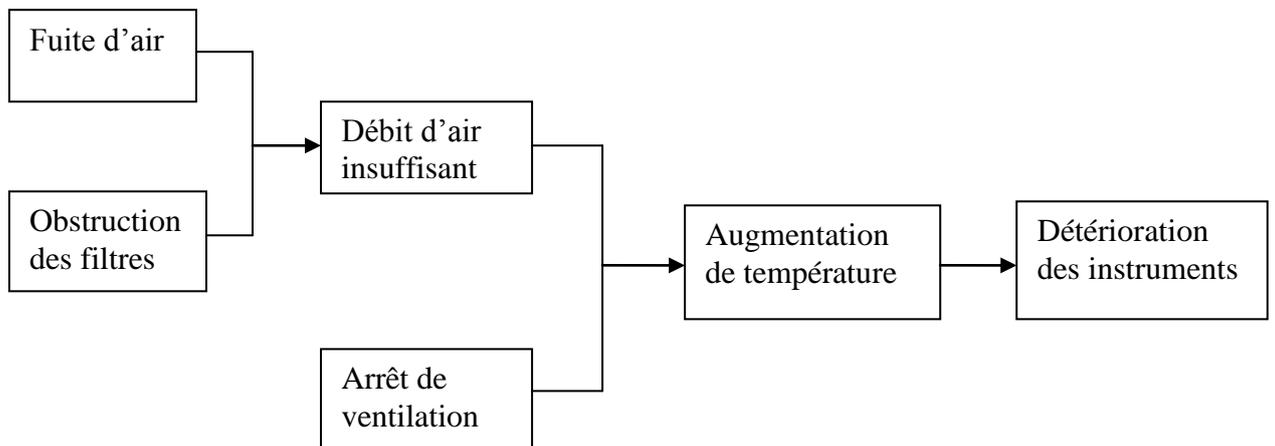


Figure IV.8 : Représentation du scénario 2.

✓ **Scenario 3 :**

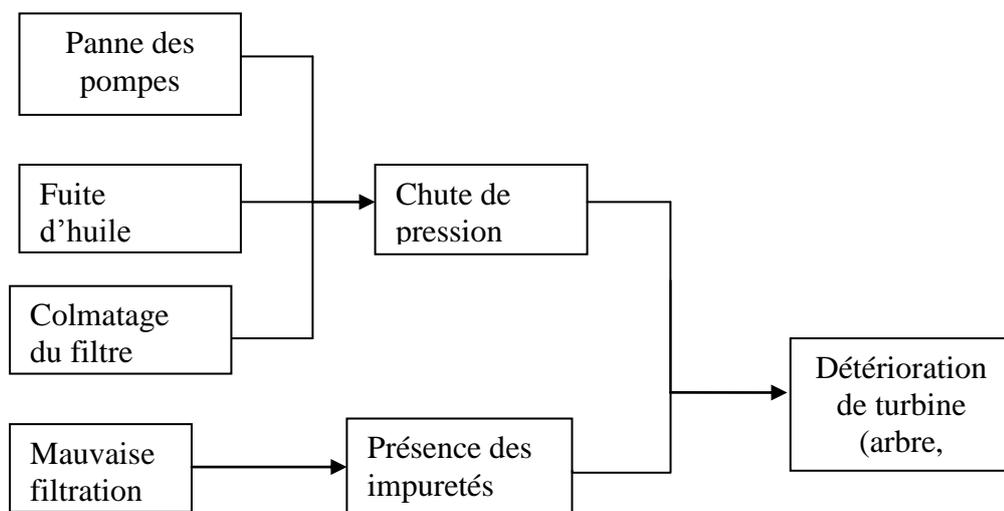


Figure IV.9 : Représentation du scénario 3.

✓ **Scenario 4 :**

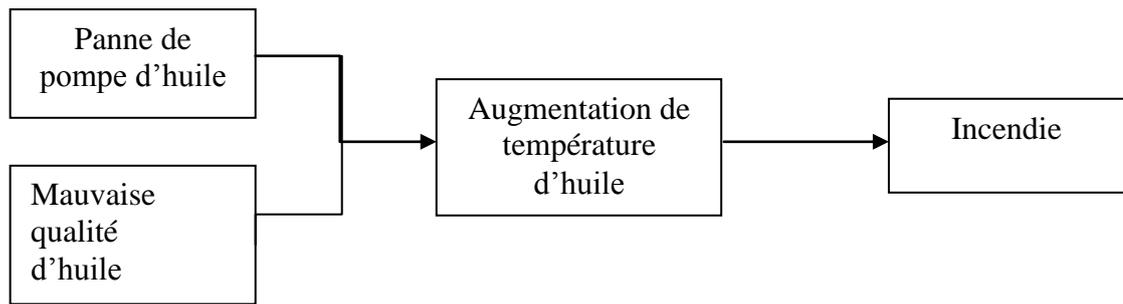


Figure IV.10 : Représentation du scénario 4.

✓ **Scenario 5 :**

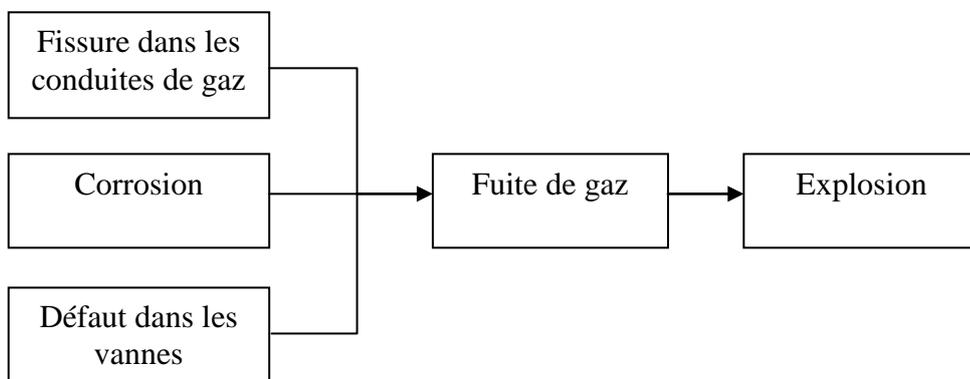


Figure IV.11 : Représentation du scénario 5.

✓ **Scenario 6 :**

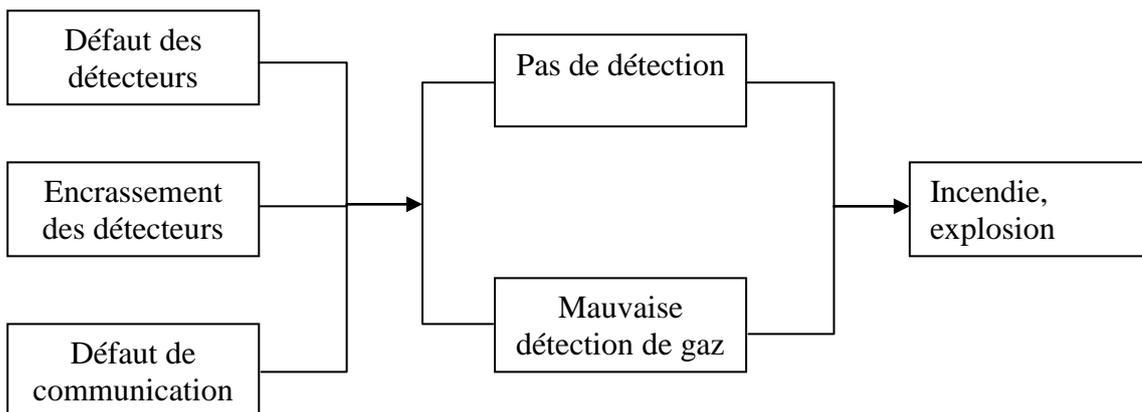


Figure IV.12 : Représentation du scénario 6.

✓ **Scenario 7 :**

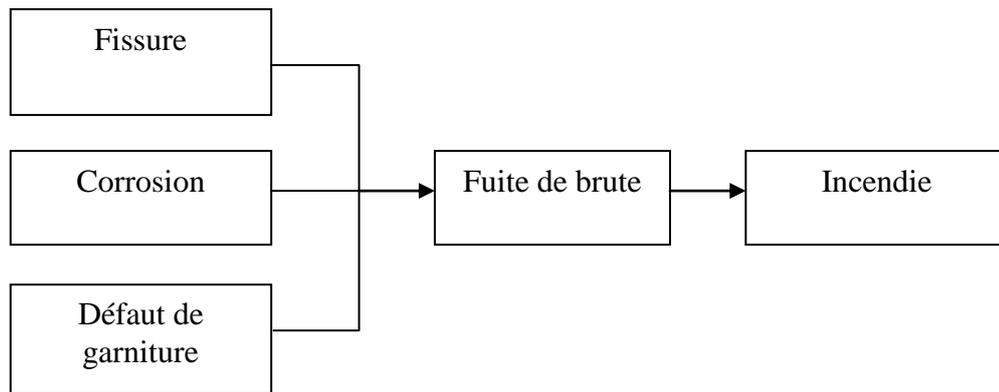


Figure IV.13 : Représentation du scénario 7.

✓ **Scenario 8 :**

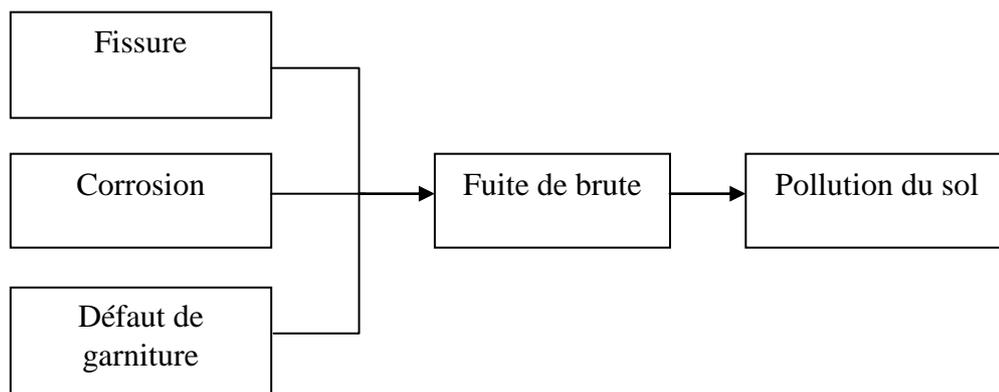


Figure IV.14 : Représentation du scénario 8.

✓ **Scenario 9 :**

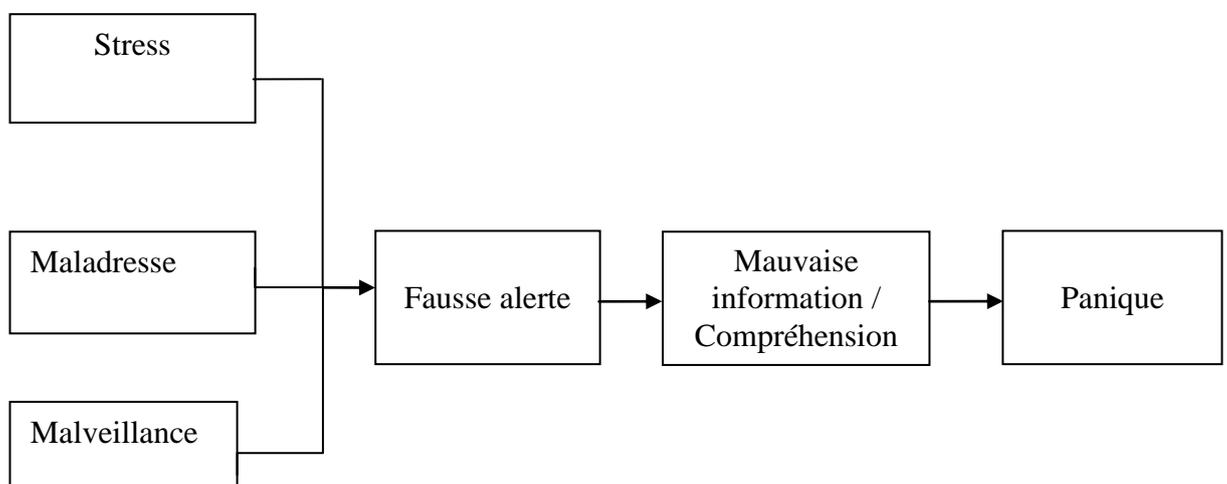
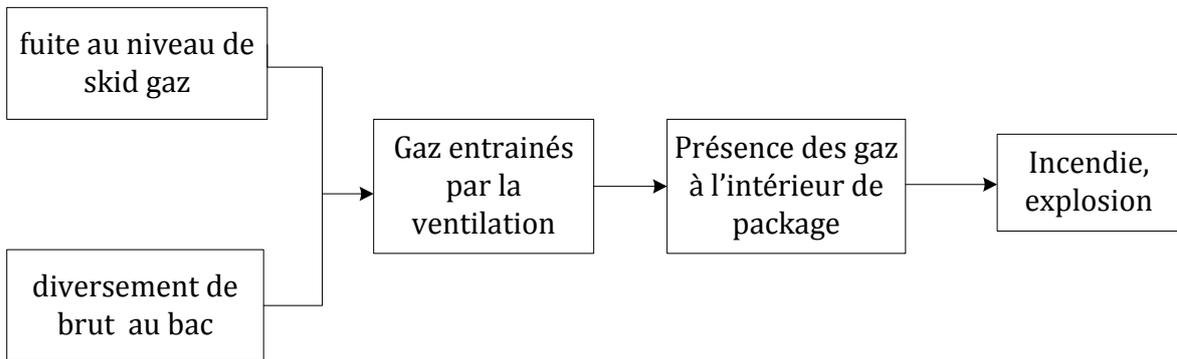


Figure IV.15 : Représentation du scénario 9.

✓ **Scenario10 :**



**Figure IV.16: Représentation du scénario 10.**

De la même manière, si l'on met toutes les boîtes noires sur une même page, il est possible de relier les sorties de certaines boîtes qui sont de même nature que les entrées d'autres boîtes. On obtient ainsi des scénarios longs d'enchaînements d'événements ou scénarios de proximité ou aussi scénarios principaux.

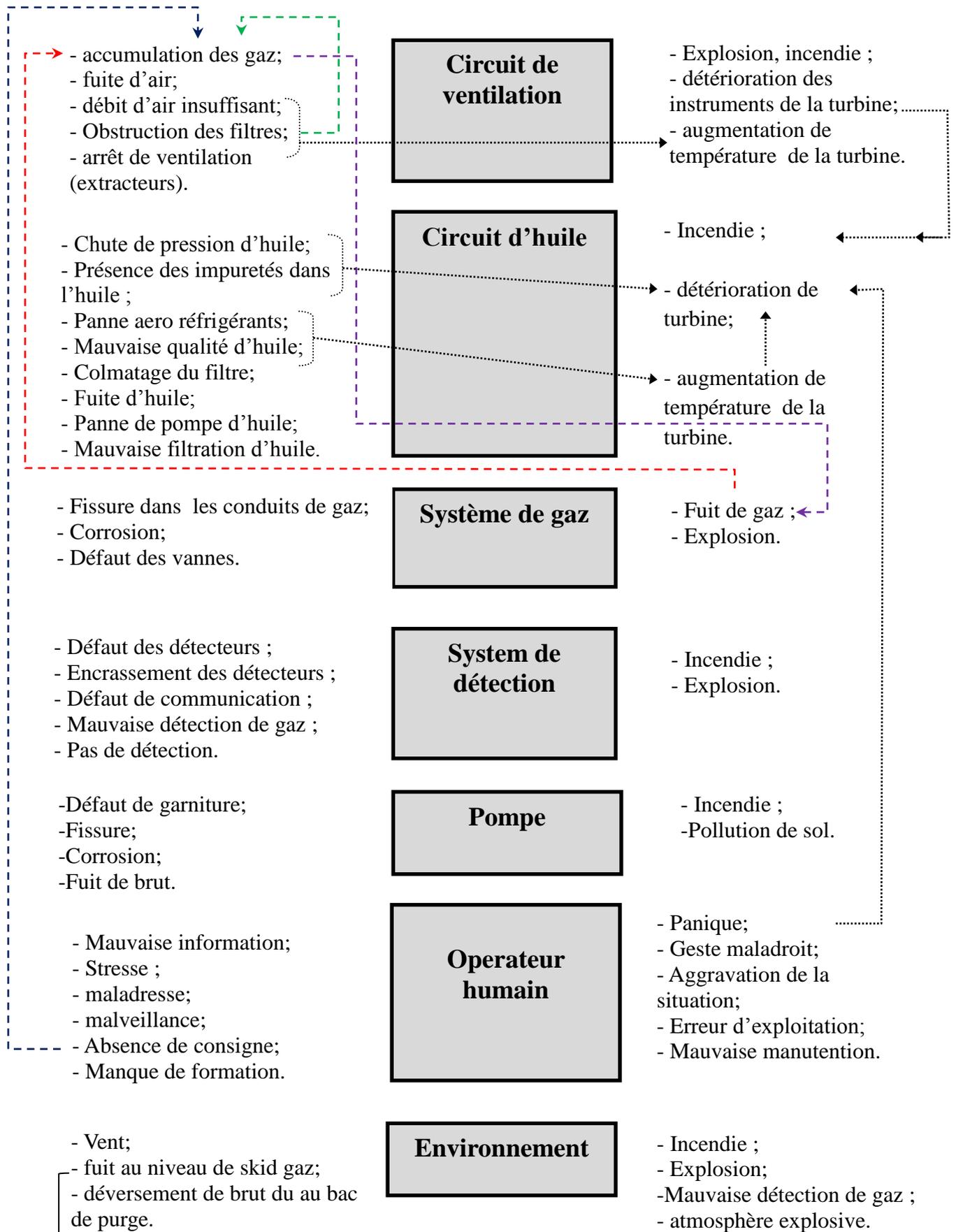


Figure IV.17 : Scénarios principaux.

Ce qui permet de générer quelques exemples de scénarios suivants :

✓ **1<sup>er</sup> Scénario long :**

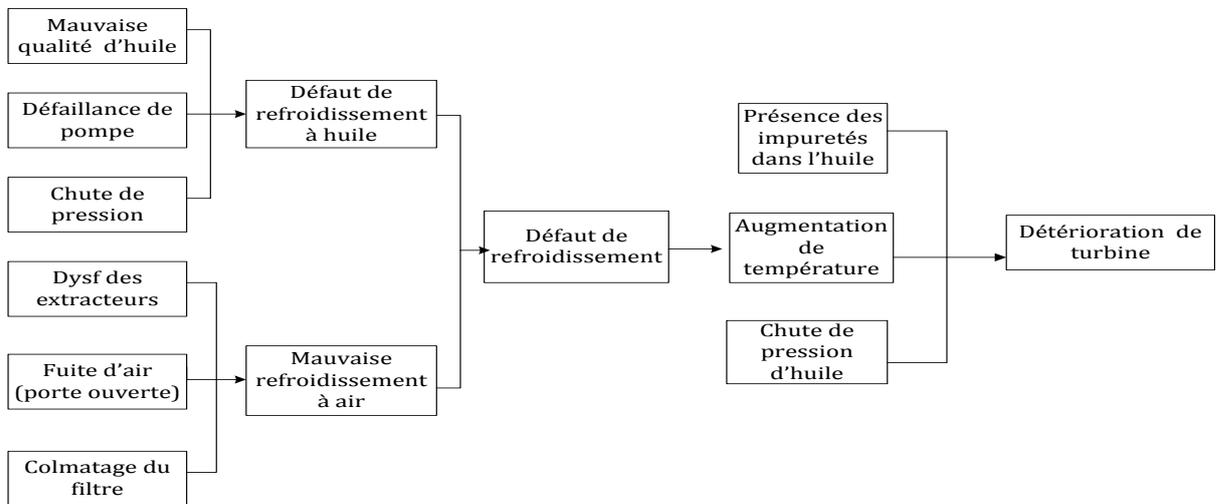


Figure IV.18 : Représentation du 1<sup>er</sup> scénario long.

✓ **2<sup>ème</sup> Scénario long :**

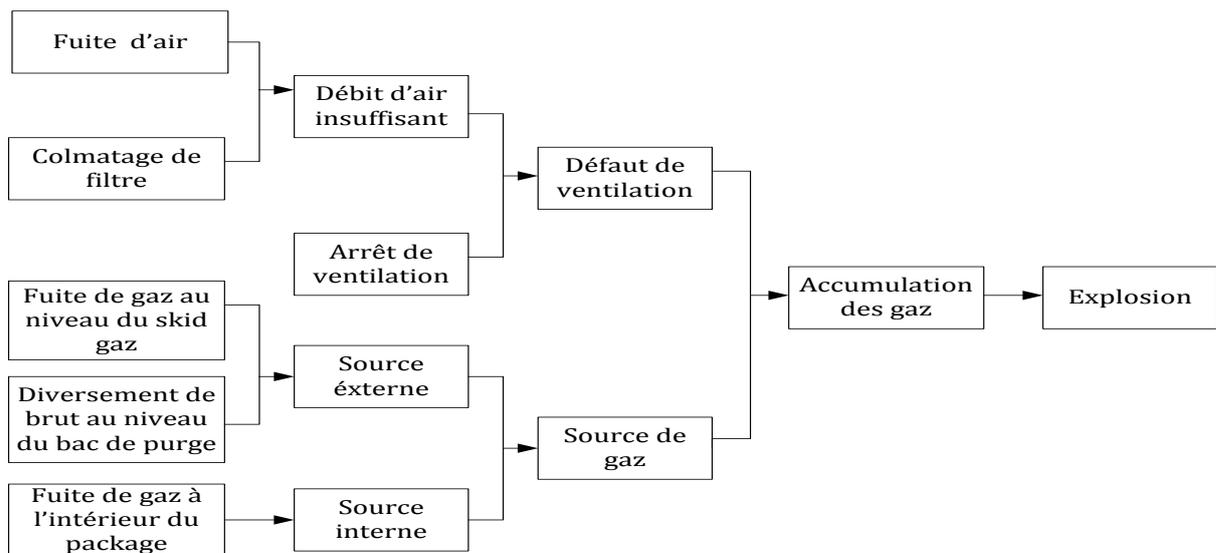


Figure IV.19 : Représentation du 2<sup>ème</sup> scénario long.

A partir des scénarios longs et des scénarios courts on peut construire, en les concaténant sur un même événement, un arbre logique qui est la première représentation des événements.

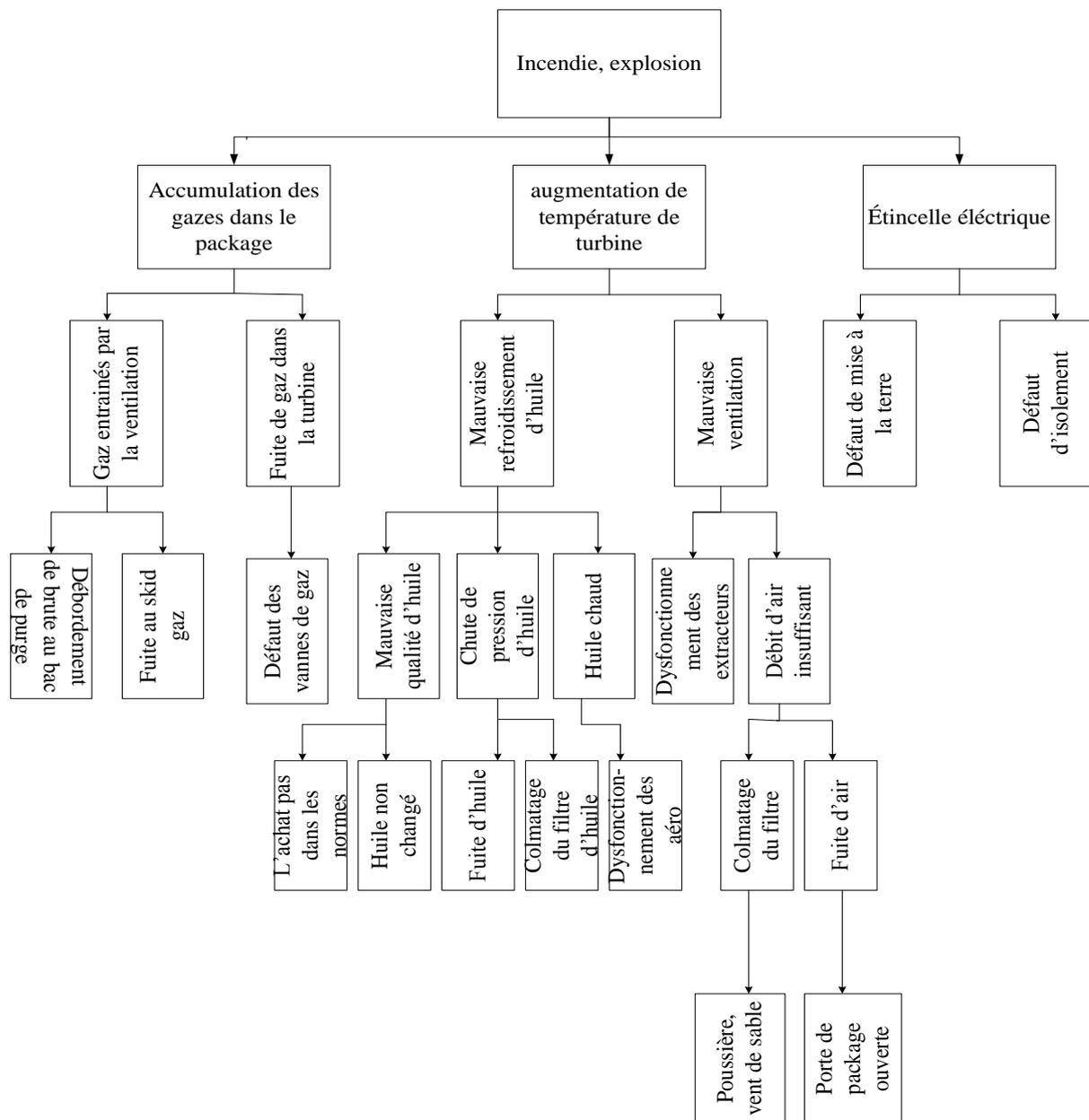


Figure IV.20 : Arbre logique.

➤ **3<sup>ème</sup> étape du module A : Evaluation des scénarios de risque.**

Comme nous avons vu au précédent, cette étape permet d'évaluer quantitativement, par le calcul éventuellement à l'aide de logiciels ; ou qualitativement par travail de groupe ou le jugement d'experts.

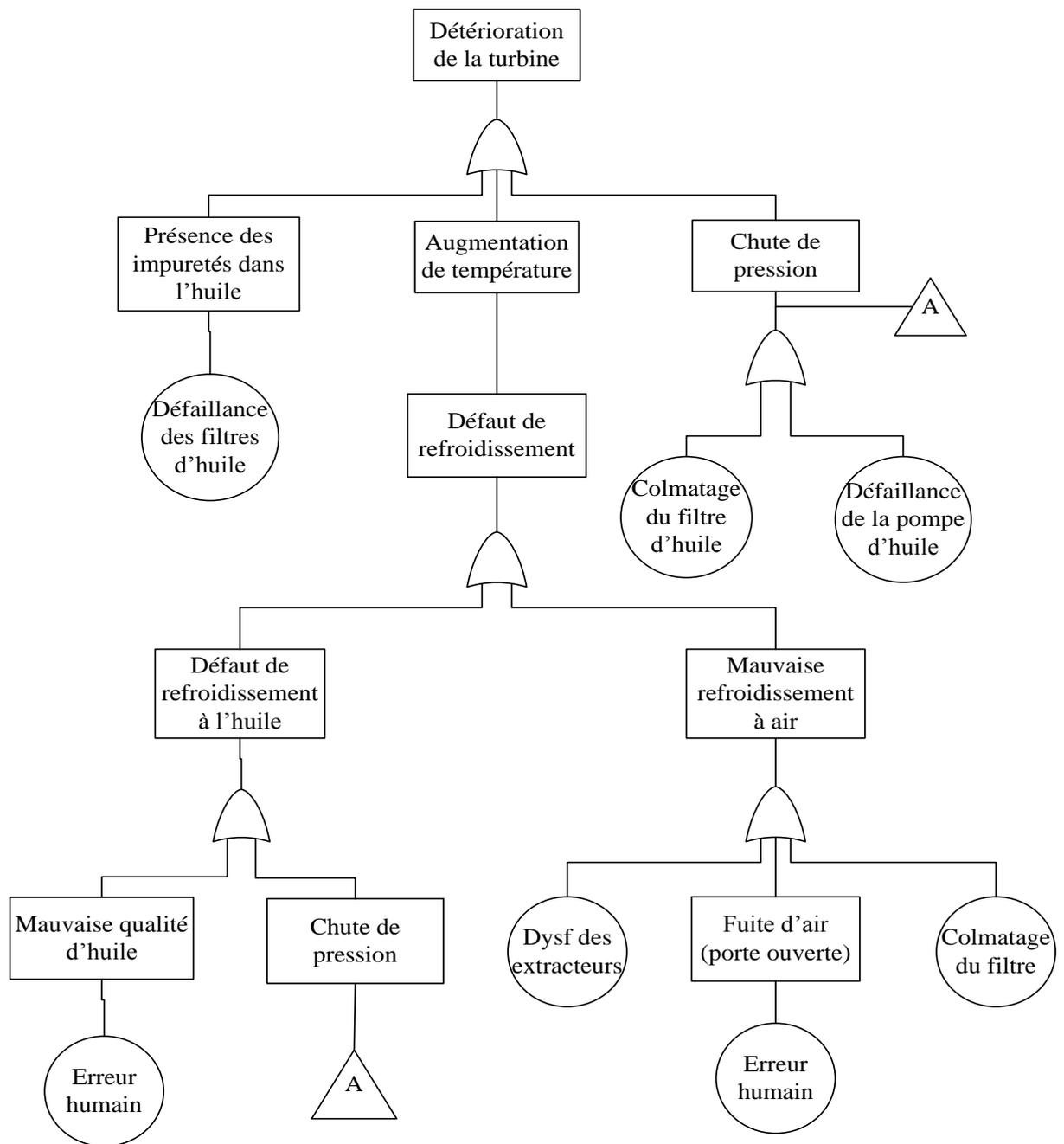


Figure IV.21 : Caractéristiques des différents événements identifiés et leurs interactions avec les sous-systèmes.

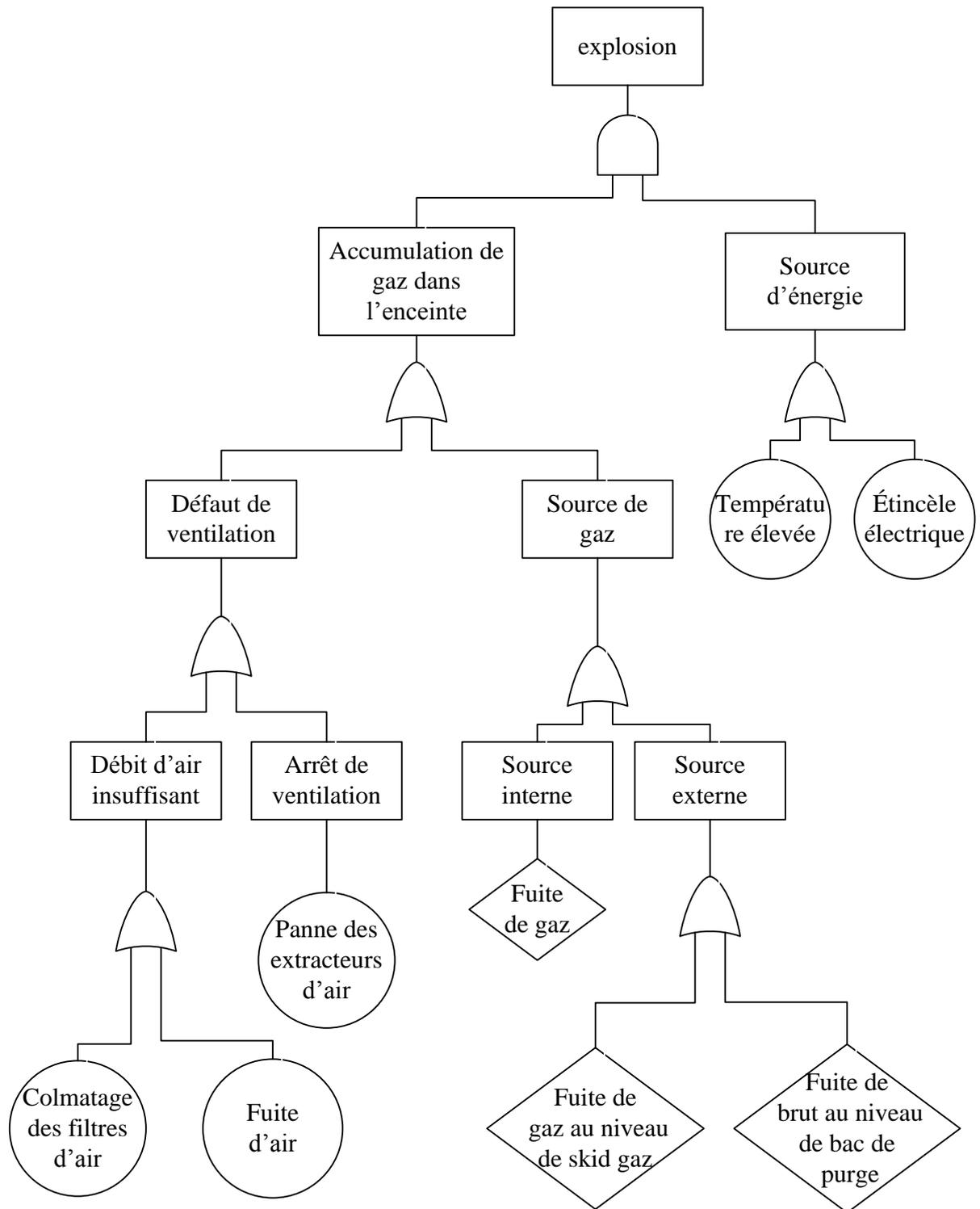


Figure IV.22 : Caractéristiques des différents événements identifiés et leurs interactions avec les sous-systèmes.

➤ **4<sup>ème</sup> étape du module A : Négociation d'objectifs et hiérarchisation des scénarios**

Jusqu'ici nous n'avons pas situé le travail d'analyse par rapport à des **objectifs**. La mise en évidence de scénarios de risques et leur évaluation permet de mieux définir ces objectifs. Dans un premier temps, il est nécessaire de construire un outil qui permettra de concrétiser ces objectifs. Celui choisi est la grille gravité **x** probabilités.

✓ **Définition des gravités ou effets sur une cible :**

**G<sub>1</sub>** : Mineur, blessures légères, accident sans arrêt de travail.

**G<sub>2</sub>** : Peu important, effets irréversibles, accident avec arrêt de travail sans invalidités.

**G<sub>3</sub>** : Important, effets irréversibles, accident avec arrêt de travail invalidités.

**G<sub>4</sub>** : Très important, mort d'homme.

✓ **Définition de la probabilité de l'effet : (Pendant 10ans)**

**P<sub>1</sub>**: Très improbable (moins d'une fois).

**P<sub>2</sub>**: Improbable (une fois).

**P<sub>3</sub>**: Peu probable (peut être une fois).

**P<sub>4</sub>**: Probable (plus d'une fois).

De là, on trace le tableau suivant :

**Tableau IV.2 : Définition de la probabilité de l'effet.**

Scénario	Probabilité	Gravité
<b>Sc<sub>1</sub></b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>Sc<sub>2</sub></b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Sc<sub>3</sub></b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Sc<sub>4</sub></b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Sc<sub>5</sub></b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Sc<sub>6</sub></b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Sc<sub>7</sub></b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Sc<sub>8</sub></b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Sc<sub>9</sub></b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Sc<sub>10</sub></b>	<b>2</b>	<b>2</b>

D'où on a la présentation graphique suivante :

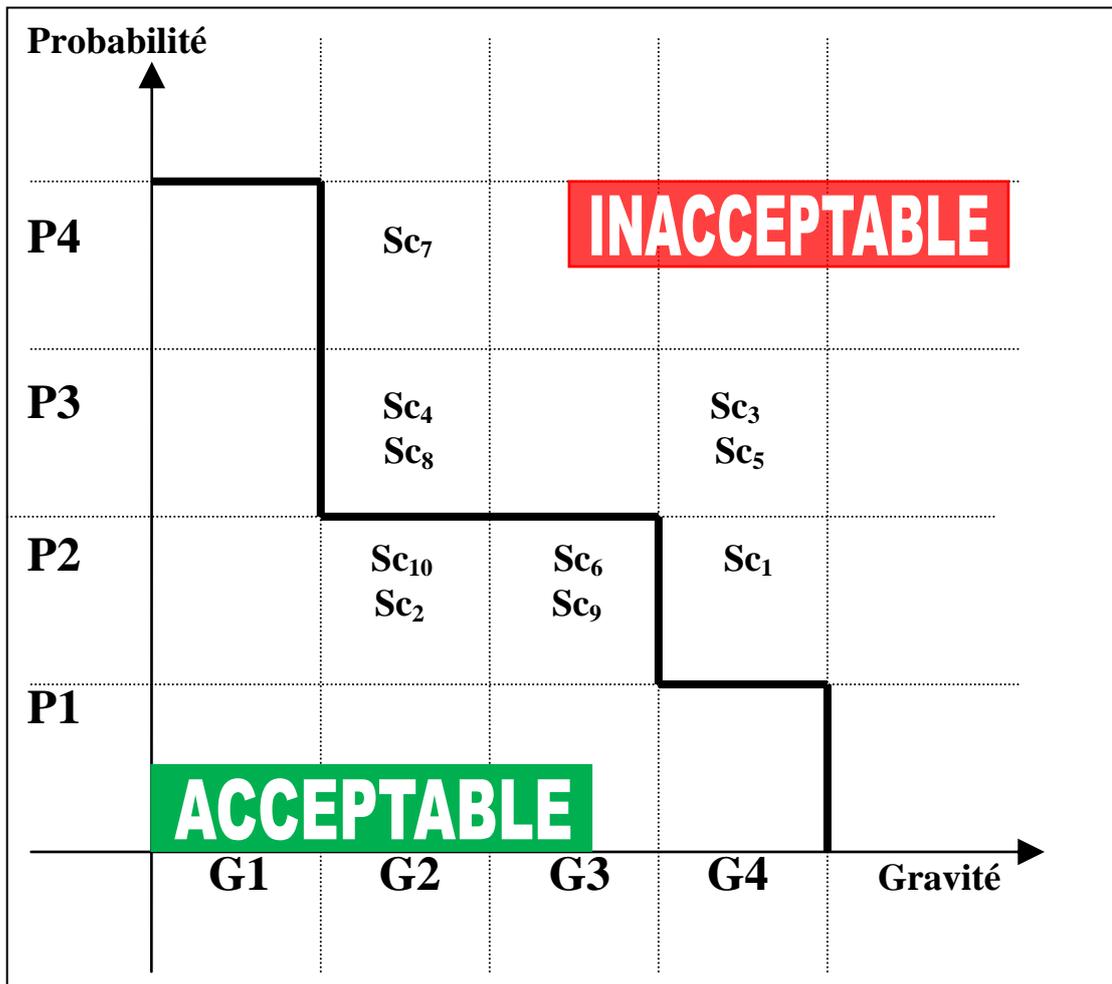


Figure IV.23 : Situation des scénarios dans les grilles Gravité x Probabilité.

- 5<sup>ème</sup> étape du module A : Définition des moyens de prévention et leur qualification

L'identification des barrières se fait à l'aide du **Tableau B** qui facilite le travail

Tableau IV.3 : Définition des moyens de prévention.

<b>Tableau B</b>			
<b>Scénarios</b>	<b>Conception</b>	<b>Ventilation</b>	<b>Protection individuelle du personnel</b>
SC <sub>1</sub>	-Débit d'air suffisant -Revêtement acoustique	-Assurer une bonne ventilation de l'enceinte	Equipement de Protection Individuel (Combinaison, chaussures de sécurité, les gons, ...).
SC <sub>2</sub>	-Débit d'air suffisant -Revêtement acoustique	-Assurer une bonne ventilation de l'enceinte	EPI (Combinaison, chaussures de sécurité, les gons, ...).
SC <sub>3</sub>	-Choix le métal des conduites -Revêtement anticorrosion -Filtration d'huile -Garniture d'étanchéité		EPI (Combinaison, chaussures de sécurité, les gons, ...).
SC <sub>4</sub>	-Aéros de refroidissement -Revêtement thermique		EPI (Combinaison, chaussures de sécurité, les gons, ...).
SC <sub>5</sub>	-Vannes de bonne qualité -Revêtement anticorrosion -Mise à la terre	-Assurer une bonne ventilation de l'enceinte	EPI (Combinaison, chaussures de sécurité, les gons, ...).
SC <sub>7</sub>	-Garniture d'étanchéité -Soupape de surpression -Revêtement anticorrosion		EPI (Combinaison, chaussures de sécurité, les gons, ...).
SC <sub>8</sub>	-Garniture d'étanchéité -Soupape de surpression -Revêtement anticorrosion		EPI (Combinaison, chaussures de sécurité, les gons, ...).
SC <sub>10</sub>	Détecteur de gaz à l'entrée d'air	Mise en place d'un système de ventilation efficace	EPI (Combinaison, chaussures de sécurité, les gons, ...).

Tableau IV.4 : Définition des formations du personnel

<b>scénario</b>	<b>surveillances médicales</b>	<b>formations du personnel</b>	<b>identification des facteurs d'ambiance</b>
SC <sub>1</sub>		Formation du personnel au risque d'incendie	
SC <sub>2</sub>		Formation du personnel au risque d'incendie	
SC <sub>3</sub>		Formation du personnel aux risques liés à la turbine	
SC <sub>4</sub>		Formation du personnel au risque d'incendie	
SC <sub>5</sub>		Informé aux risques liés au gaz	
SC <sub>7</sub>		Formation du personnel au risque d'incendie	
SC <sub>8</sub>		formation du personnel au risque de la pollution	
SC <sub>10</sub>		formation du personnel au risque d'incendie	

Tableau IV.5 : Définition des Contrôles et vérification technique

Scénario	Comportements humains	Consignes	Contrôles et vérification technique
SC <sub>1</sub>	-Ouvrier bon forme physique et mentale -Perfectionnement	Consigne en cas d'incendie	-Vérification de l'état du filtre -Vérification du débit d'air
SC <sub>2</sub>	-Ouvrier bon forme physique et mentale -Perfectionnement	Consigne en cas d'incendie	-Vérification de l'état du filtre -Vérification débit d'air -Analyse périodique de l'huile
SC <sub>3</sub>	-Ouvrier bon forme physique et mentale -Perfectionnement	Consigne en cas d'incident	-Analyse périodique de l'huile -Vérification de l'état du filtre, des conduites et des pompes
SC <sub>4</sub>	-Ouvrier bon forme physique et mentale -Perfectionnement	Consigne en cas d'incendie	-Vérification de l'état du filtre -Vérification du débit d'air
SC <sub>5</sub>	-Ouvrier bon forme physique et mental	Consigne d'évacuation en cas d'incendie	Contrôle périodique de l'état des conduites et des vannes de gaz
SC <sub>7</sub>	-Ouvrier bon forme physique et mental	Consigne en cas d'incendie	Vérification de l'état de la garniture
SC <sub>8</sub>	-Ouvrier bon forme physique et mental	Consigne en cas d'incendie	Vérification de l'état de la garniture
SC <sub>10</sub>	-Ouvrier bon forme physique et mental	Consigne en cas d'incendie	-Vérification de l'état du bac de purge -Contrôle du niveau de remplissage du bac

Tableau IV.6 : Définition des types de maintenance et l'influences sur l'environnement

scénario	Télesurveillances	Maintenances	influences sur l'environnement
SC <sub>1</sub>	-Indicateur de pression différentielle -Détecteurs de gaz	Maintenance préventive	
SC <sub>2</sub>	Indicateur de pression différentielle	Maintenance préventive	
SC <sub>3</sub>	-Indicateur de pression -Indicateur de pression différentielle	Maintenance préventive	
SC <sub>4</sub>	-Capteurs de température -Détecteur de flamme	Maintenance préventive	
SC <sub>5</sub>	-détecteurs de flamme -Détecteurs de gaz à l'intérieur de l'enceinte	Maintenance préventive	Risque de pollution
SC <sub>7</sub>	-Détecteurs de flamme	Maintenance préventive	Risque de pollution
SC <sub>8</sub>	-Détecteurs de flamme	Maintenance préventive	Risque de pollution
SC <sub>10</sub>	Détecteurs de gaz à l'entrée d'air de ventilation	Maintenance préventive	Risque de pollution

L'identification des barrières se fait à l'aide du **Tableau C** qui facilite le travail

Tableau IV.7 : Identification des barrières.

TABLEAU C					
Barrières de: Conception	Scénario	Type	Eléments de conception de ces barrières (grille 1)	Contrôles et vérifications techniques	Maintenance
Vannes de gaz	1	BT	Bonne étanchéité des vannes	Vérification périodique d'état	Préventive (corrosion)
Revêtement anticorrosion	1, 2, 6	BT	Bonne résistance contre la corrosion	Vérification périodique d'état	Préventive
Aéros de refroidissement	4, 5	BT	Vitesse et débit d'air suffisant pour refroidir	Vérification périodique de bon fonctionnement	Préventive
Revêtement thermique	4	BT	Bonne isolation thermique	Vérification périodique d'état	Préventive
Filtre d'huile	5	BT	Bonne filtration	Vérification périodique d'état	Préventive (colmatage)
Garniture d'étanchéité	6, 2	BT	Bonne étanchéité	Vérification périodique d'état	Préventive
Soupape de surpression	6	BT	Bonne calcul de pression	Vérification périodique de bon fonctionnement	Préventive
Détecteur de gaz à l'entrée d'air	7	BT	Seuil de détection	Vérification périodique de bon fonctionnement	Préventive
Mise à la terre	1	BU	-Bonne continuité électrique -Résistance de terre adaptée	-Vérification périodique de la résistance de terre	Préventive (corrosion)

#### **IV.4.Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'appliquer la méthode MADS MOSAR à un exemple concret : système turbopompe. Après les différentes modélisations que nous venons de faire, on constate déjà qu'on arrive à avoir une idée très détaillée des défaillances à éviter qui sont à l'origine des accidents.

Enfin, la modélisation des scénarios dans notre étude nous a permis d'avoir une idée claire sur les dispositions à prendre afin d'éviter des événements non souhaités.