



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

**Mémoire de Master en Sécurité Industrielle
Spécialité : QHSE-GRI**

Intitulé

**Analyse par la méthode Nœud Papillon :
Cas du séparateur primaire « Slug catcher » du
Groupement Berkine – El Merk.**

Etudié par : AMROUS Djamila Nesrine.

Proposé par : BENSARI Kamel.

Encadré par : OUADJAOUT Mohamed.

ملخص

في اطار مشروع نهاية دراسة الماستر قمنا بتطبيق طريقة تحليل الخطر(ربطة القوس) على الفاصل المتواجد في مركب المرق مجمع بركين.
بداية ، قدمنا مبادئ الموضوع ثم طبقنا هذه الدراسة على الماسك الذي هو عبارة عن فاصل ابتدائي في مدخل مركب المرق مجمع بركين بالاعتماد على النتائج المتحصل عليها في مشروع نهاية الدراسة. و في النهاية اقترحنا بعض الحواجز الأمنية.
مصطلحات البحث:

تحليل الخطر، طريقة (ربطة القوس)، فاصل ابتدائي، الحواجز الأمنية.

Résumé

Dans le cadre du mémoire de Master, le travail effectué consiste à développer la méthode d'analyse de risques Nœud Papillon.

En premier lieu, les principes de base de la méthode sont introduits. Ensuite, nous avons élaboré une étude de cas sur le *slug catcher* : séparateur primaire de l'installation El Merk – Groupement Berkine, en s'inspirant des scénarios issus de mon travail de mémoire de fin d'étude sur cet équipement.

Notre travail se conclue en proposant quelques barrières de sécurité.

Mots clés :

Analyse des risques, Barrières de sécurité, méthode du nœud-papillon, slug catcher.

Abstract

In the framework of the Master's thesis the work presented consists to develop risk analysis with the Bow-Tie method.

At first, the principles of the method have been introduced. Then we developed a case study on the slug catcher: primary separator installation El Merk – Groupement Berkine using information from my final memory of study on this same equipment, to propose later some security barriers.

Key Words:

Bow-tie method, risk analysis, slug catcher, security barriers.

Dédicaces

*À la mémoire de ma chère grande mère,
À mes chers parents,
À mon frère et mes sœurs,
À tous mes proches,
À tous mes amis,*

Je dédie ce modeste travail.

DJAMILA-NESRINE

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont tout d'abord à mes encadreurs Monsieur K.BENSARI et M.OUADJAOUT, respectivement Directeur HSE à Hassi Messaoud, Enseignant-Chercheur à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour leurs suivis, aide et disponibilités tout au long de ce travail.

Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à Madame S.ZEBOUDJ, responsable de la filière QHSE-GRI au niveau de l'ENP, et aussi Enseignante-Chercheur au sein de cet établissement qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Je remercie également Madame N.OUSSEDIK et Monsieur A.KERTOUS, Enseignants à l'ENP, qui ont bien voulu examiner mon travail et apporter leurs critiques en tant que membre du jury.

Je remercie aussi les employés du Groupement BERKINE, et à leur tête Messieurs : M.HOUHAMEDI, S.AZZOUZ et T.IONEL pour m'avoir conseillé tout au long du projet, pour leur entière disponibilité et pour leurs compétences, ainsi que leur précieuse aide qu'ils m'ont apportée.

Je n'oublie pas de remercier tous ceux qui m'ont apporté leurs appuis, particulièrement : mes parents qui ont toujours cru en moi, mon frère Nassim, mes sœurs Amel et Hanane, ma tante Fouzia et mon meilleur ami Amine.

Enfin mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: barrières de prévention

Tableau 2: barrières de protection

Tableau 3: Les catégories des barrières de sécurité

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Les étapes de l'analyse des risques

Figure 2: Représentation de scénarios d'accident selon la méthode du nœud papillon

Figure 3: Mise en œuvre de la méthode Nœud-Papillon

Figure 4: Barrières de sécurité de prévention et de protection

Figure 5: Séparateur primaire : slug catcher de l'installation EL MERK

Figure 6: Arbre de défaillances

Figure 7: Arbre d'événements

Figure 8: Nœud-Papillon du Slug catcher

Figure 9: Nœud-Papillon muni de barrières de sécurité

Figure 10: Répartition des barrières de prévention

Figure 11: Répartition des barrières de protection

TABLE DE MATIERE

Introduction.....	01
1. Processus d'analyse de risque.....	02
2. Description de la méthode nœud papillon.....	08
❖ Historique et domaine d'application.....	08
❖ Objectif.....	08
❖ Principe.....	09
❖ Avantages et limites de la méthode.....	11
❖ Mise en œuvre de la méthode.....	11
3. Arbre de défaillances.....	12
❖ Objectif.....	12
❖ Principe.....	12
❖ Avantages et limites.....	12
4. Arbre d'événements.....	13
❖ Objectif.....	13
❖ Principe.....	13
❖ Avantages et limites.....	13
5. les barrières de sécurité.....	14
6. Etude de Cas.....	15
6.1. Arbre de défaillances.....	16
6.2. Arbre d'événements.....	16
6.3. Nœud Papillon.....	17
6.4. Les barrières de sécurité existante au site El Merk pour le slug catcher et les recommandations pour une amélioration de la sécurité.....	18
Conclusion.....	25
Références.....	26
Annexes	

Introduction

La représentation nœud-papillon existe depuis plusieurs années, mais a suscité un grand intérêt dans les dernières années. Elle est utilisée dans de nombreux secteurs industriels et a été développée par la compagnie Shell. L'approche est de type dite arborescente ce qui permet de visualiser en un seul plan les causes possibles d'un accident, ses conséquences et les barrières de sécurité mises en place. L'événement non désiré (au centre) peut être le résultat de plusieurs causes possibles (identifiées par une analyse de défaillance). À son tour, si celui-ci se matérialise, divers phénomènes dangereux peuvent engendrer des effets sur des éléments sensibles du milieu dans lequel on se trouve (identifiées par une analyse d'événements ou de conséquences).

Les études de dangers comportent ainsi une phase d'identification des scénarios d'accidents pouvant conduire à des phénomènes dangereux. Il est possible de représenter les différents scénarios d'accidents sous la forme d'un ou plusieurs nœuds-papillons.

Il assure une identification des barrières de sécurité et permet, après évaluation des probabilités, de bénéficier d'une vision claire sur les causes les plus probables, pour lesquelles un effort de maîtrise des risques pourrait devoir être consenti.

Nous avons choisi d'étudier un scénario bien précis qui est « la perte de confinement du slug catcher » de l'installation d'El Merk pour prévenir la survenance de cet accident majeur en fournissant une arborescence détaillée capable d'explicitier le déroulement chronologique d'un accident.

1. Processus d'analyse de risque [1]

Il part de l'identification des dangers, décrit les différentes circonstances (ou menaces) ainsi que les barrières et causes pour aboutir à l'événement principal. De là, un certain nombre de mesures de prévention et de protection permettent d'atténuer les conséquences qui seront in fine traitées par l'organisation de gestion de crise de l'établissement.

L'analyse des risques est réalisée au travers de onze étapes matérialisées dans le logigramme ci-dessous.

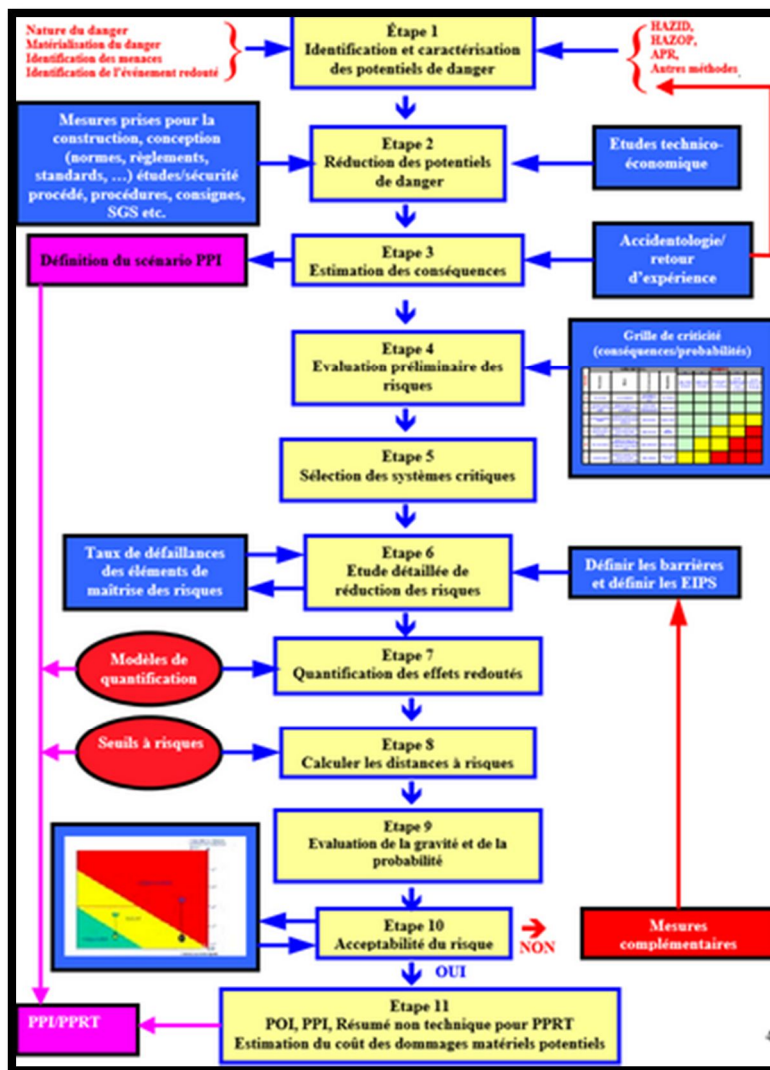


Figure 1: Les étapes de l'analyse des risques

Nous allons ci-dessous détailler chaque étape.

Etape 1 : Identification et caractérisation des potentiels de danger

L'identification des dangers est le processus permettant de trouver, lister et caractériser les situations, conditions ou pratiques qui comportent en elles-mêmes un potentiel à causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement. Ces situations, conditions ou pratiques sont des dangers.

Tous les dangers potentiels des installations sont identifiés et caractérisés en tenant compte des dangers liés aux modes d'approvisionnements et d'expéditions des matières susceptibles de générer des dangers y compris par effet domino. A ce stade de l'analyse l'évaluation de la gravité du potentiel de danger fera abstraction de toutes barrières déjà en place.

Cette étape permettra :

⇒ D'identifier la nature des dangers (possibilité d'utiliser une check-list),

⇒ De définir la matérialisation de ces dangers,

⇒ D'identifier les différentes circonstances ou menaces susceptibles de faire se matérialiser le danger,

⇒ D'identifier les évènements redoutés,

⇒ D'identifier les conséquences possibles suite à la survenance de ces évènements redoutés.

Cette étape est mise en œuvre à l'aide de techniques adaptées. Elle est conduite par une équipe multidisciplinaire qui pourra utiliser une check-list pour identifier les dangers présents sur l'installation à tous les stades de son exploitation. Cela constitue le point de départ de la réalisation d'un registre d'identification des dangers.

Etape 2 : Réduction des potentiels de danger

Pour les risques identifiés comme présentant un fort potentiel de danger, cette étape consiste à tenter de :

⇒ Supprimer ou substituer aux procédés et aux produits dangereux, à l'origine de ces dangers potentiels, des procédés ou produits présentant des risques moindres ;

⇒ Réduire autant qu'il est possible les quantités de matières dangereuses en cause,

Etape 3 : Estimation des conséquences potentielles

Cette étape consiste à faire une évaluation des conséquences potentielles de la libération de la totalité du danger présent dans le système étudié. Ne seront retenus que les scénarios physiquement vraisemblables, (par exemple un BLEVE de réservoir sous talus n'est pas physiquement vraisemblable) Il sera en particulier tenu compte de l'accidentologie de l'établissement et de la branche d'activité concernée.

Les conséquences sont évaluées en terme de gravité et classées selon leurs effets (thermique, mécanique, toxique...).

Cette évaluation des conséquences est faite sur les personnes, les biens et l'environnement.

Etape 4 : Evaluation préliminaire des risques

Cette étape consiste à comparer le risque potentiel à des critères de risques définis.

Pour chacune des conséquences attachées à un danger, le niveau de risque potentiel est évalué. Pour cela on aura recours à une matrice de criticité adaptée à l'installation objet de l'étude.

Pour chacune des conséquences du scénario étudié, la gravité et la probabilité sont évalués de façon croissante.

Chacune des conséquences ainsi évaluée sera positionnée dans la grille.

⇒ La zone verte correspond à un risque faible jugé comme acceptable sous réserve d'avoir du personnel compétent d'assurer sa formation et de mettre en place les procédures nécessaires,

⇒ La zone jaune correspond à un risque moyen pour lequel il sera nécessaire de démontrer que le système de management de la sécurité est bien en place et qu'il est bien appliqué et que le risque a été ramené au plus bas niveau possible.

⇒ La zone rouge correspond à un risque intolérable qui va nécessiter une étude détaillée de chacun des scénarios présents dans cette zone avec pour objectif de le rendre acceptable.

Pour chacun des scénarios le registre d'identification est complété par les valeurs des niveaux de risque. Cette approche est basée sur l'expérience et le jugement de l'équipe multidisciplinaire.

Etape 5 : Sélection des systèmes critiques

A ce stade de l'étude, comme nous venons de le voir dans l'étape précédente chacune des conséquences est positionnée dans la grille de criticité.

Tous les scénarios dont les conséquences sont situées dans la zone rouge seront considérés comme critiques et seront soumis aux étapes suivantes.

Par précautions et compte tenu des incertitudes liées à cette approche nous conseillons d'inclure dans les scénarios critiques tous ceux situés en zone orange pour lesquelles une dégradation de la gravité ou de la probabilité les placeraient dans la zone intolérable.

Tous ces scénarios identifiés comme critiques seront répertoriés dans un registre des incidents majeurs et feront l'objet de la suite de l'étude.

Etape 6 : Etude détaillée de réduction des risques

À partir des scénarios identifiés comme critiques dans l'étape précédente une démarche itérative de réduction des risques sera conduite. L'étude détaillée de réduction des risques porte sur toutes leurs conditions d'exploitation (phases transitoires et d'arrêt incluses) Elle nécessite l'utilisation de méthodes systémiques. Ces méthodes peuvent également faire apparaître l'importance pour la sécurité du respect de certaines conditions prises comme hypothèses et permettre une évaluation correcte des conséquences.

Pour chacune des menaces il faudra identifier toutes les barrières déjà en place capables de s'opposer à l'apparition de l'événement redouté ou de ces conséquences.

Une barrière est constituée de tout dispositif instrumental, mécanique ou procédural permettant de prévenir ou de réduire la probabilité d'occurrence ou de limiter les

conséquences d'un événement susceptible d'aboutir à l'accident. Il existe des barrières de prévention et des barrières de protection que nous allons détailler par la suite.

- Les barrières de prévention agissent en vue de prévenir ou limiter l'occurrence de l'événement redouté,

Parmi celles-ci nous pouvons trouver par exemple des mesures concernant le design, des mesures de détection de niveau, pression, température de débit, des procédures de sécurité etc.

- Les barrières de protection visent à diminuer les conséquences de l'événement redouté.

Parmi celles-ci nous pouvons trouver par exemple :

⇒ Les procédures ou consignes de sécurité,

⇒ Les mesures de détection (gaz inflammables ou toxiques, feu, fumée etc...),

⇒ Le choix du matériel pour les zones classées,

⇒ Les mesures d'abattement (rideau d'eau, arrosage etc...),

⇒ Les plans d'intervention interne ou externe (POI, PPI, PPRT)

Les critères d'appréciation des barrières seront mesurés en termes d'efficacité, de fiabilité et de disponibilité, trois caractéristiques prépondérantes et indissociables.

Etapes 7 et 8 : Quantification des effets redoutés et calcul des distances risques

Pour chacun des scénarios identifiés, les effets redoutés seront quantifiés à l'aide de logiciels adaptés.

Etape 9 : Evaluation du niveau de risque Gravité /Probabilité

⇒ Calcul de la gravité

Une fois les distances calculées les conséquences potentielles des effets sur les personnes, les biens et l'environnement seront évaluées à partir de l'inventaire réalisé dans ces zones en

terme de nombre de personnes résidents à demeure ou de passage, nombre et type d'urbanisation et présence de zones sensibles pour l'environnement (eau, air sol, biotope etc...)

⇒ Calcul de la probabilité par la Méthode classique « nœud papillon »:

Pour chacune des menaces identifiées conduisant à un événement critique la probabilité de chacune des conséquences sera évaluée en utilisant la technique de l'arbre des causes (arbres de défaillances) pour la partie prévention jusqu'à l'événement redouté, et d'un arbre des événements pour chacune des conséquences. La cinétique pourra également être prise en compte, par exemple la durée avant que les conséquences ne soient constatées (temps de détection, temps de déclenchement ou de mise en œuvre des moyens etc...).

Etape 10 : Acceptabilité du risque

A ce stade de l'étude, nous disposons de l'estimation des conséquences en terme de gravité et en probabilité. A partir de ces deux paramètres le niveau de risque sera positionné sur une grille ou l'acceptabilité du risque sera définie.

⇒ La zone verte correspond à un risque jugé comme tolérable,

⇒ La zone jaune pour laquelle il sera nécessaire de démontrer que le risque a bien été réduit jusqu'à un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable (ALARP), ⇒ la zone rouge correspond à un risque intolérable.

Chaque scénario encore positionné dans cette zone rouge devra faire l'objet d'une démarche de réduction du risque par la mise en œuvre de barrières complémentaires jusqu'à atteindre un niveau de risque tolérable et au pire ALARP.

Un risque toujours présent en zone rouge malgré la mise en place de barrières supplémentaires ne sera pas acceptable et des solutions alternatives sont à rechercher.

Etape 11 : Etablissement des plans de prévention

A partir des éléments définis ci-dessus les plans de prévention seront établis :

⇒ Plan d'Opération Interne (POI) réalisé par l'industriel,

⇒ Plan Particulier d'Intervention (PPI) réalisé par le préfet, il définit les dispositions à mettre en œuvre à l'extérieur de l'établissement.

⇒ Plan de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) élaboré par le Préfet en concertation avec les collectivités territoriales, l'exploitant et le président de la CLIC il sera utilisé pour la maîtrise de l'urbanisation autour des sites à risques.

Pour chaque accident majeur identifié dans cette étude et dont les conséquences ont des effets à l'extérieur du site, en complément de la probabilité sera estimé le coût des dommages matériels potentiels aux tiers.

Tout ce processus défini une analyse des risques, nous allons détailler la méthode du nœud papillon.

2. Description de la méthode nœud papillon

❖ Historique et domaine d'application

La méthode du nœud papillon est une approche de type arborescente largement utilisée dans différents secteurs industriels. Elle est basée sur une démarche probabiliste d'analyse et de gestion des risques. Elle a été utilisée initialement par l'entreprise Shell, qui a été à l'origine du développement de ce type d'outils. [2]

❖ Objectif

La méthode du nœud papillon est particulièrement utile pour :

- Visualiser les scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées ;
- Décrire les différentes circonstances (menaces), les barrières et les causes de l'évènement redouté ;
- Apporter une démonstration renforcée de la bonne maîtrise des risques en présentant clairement l'action de barrières de sécurité sur le déroulement d'un accident.

❖ Principe [3]

Le nœud papillon est outil qui combine entre un arbre de défaillances et un arbre d'événement. La figure ci-dessous nous donne la représentation schématique d'un nœud papillon.

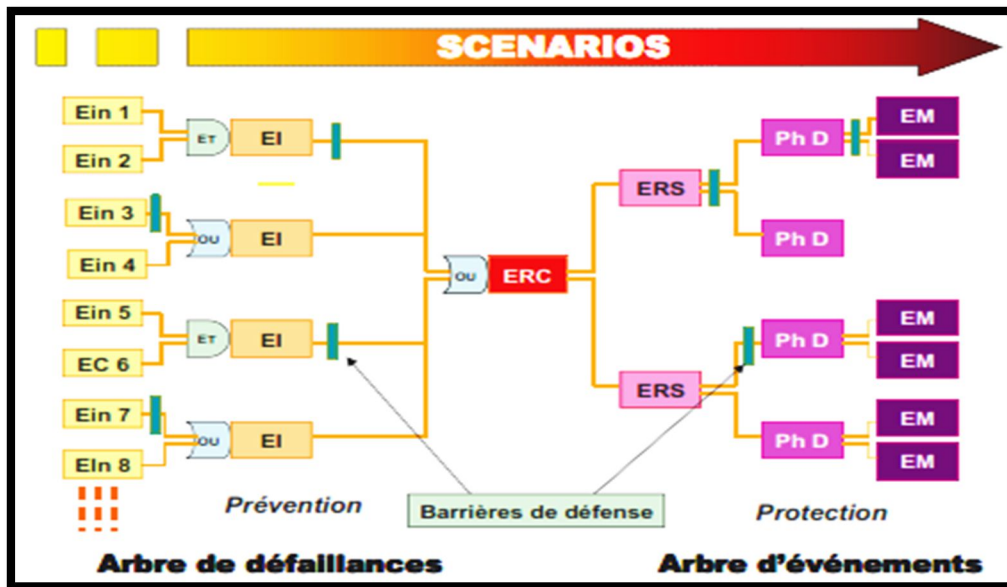
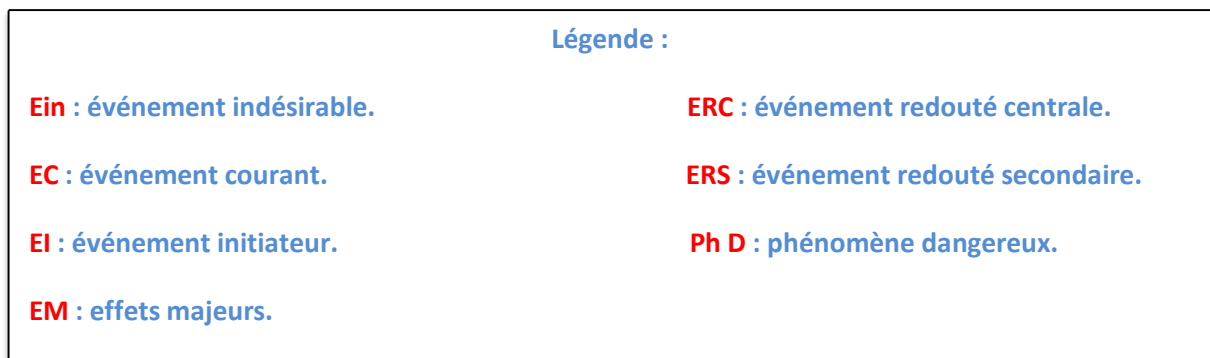


Figure 2: Représentation de scénarios d'accident selon la méthode du nœud papillon



Définition des termes utilisés :

Evènement Indésirable (Ein) : Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies.

Evènement Courant (EC) : Evènement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.

Evènement Initiateur (EI) : Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.

Evènement Redouté Central (ERC) : Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse.

Evènement Redouté Secondaire (ERS) : Conséquence directe de l'évènement redouté central, l'évènement redouté secondaire caractérise le terme source de l'accident.

Phénomène Dangereux (Ph D) : Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs.

Effets Majeurs (EM) : Dommages occasionnés au niveau des éléments vulnérables (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un phénomène dangereux.

Barrières ou Mesures de Prévention : Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de confinement ou d'intégrité physique.

Barrières ou Mesures de Protection : Barrières ou mesures visant à limiter les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique.

Les événements initiateurs peuvent être des agressions externes ou des défaillances du système étudié. Par exemple, le vieillissement des matériaux, le choc d'embâcles, la défaillance humaine lors d'une manœuvre, la non ouverture de clapets ou encore séisme, foudre, avalanche ...

Les événements intermédiaires sont des familles d'évènements initiateurs. Plusieurs exemples peuvent être donnés :

- les « agresseurs externes », regroupant le séisme, les embâcles, etc. ;
- la « défaillance des évacuateurs de crues », regroupant l'impossibilité d'accéder au barrage et aux organes de manœuvre, la fermeture intempestive des clapets, etc.

Les mesures de sécurité identifiées en amont et en aval de l'ERC peuvent être à la fois des barrières humaines ou des barrières techniques.

Du point de vue pratique, les nœuds papillon mobilisent des méthodes spécifiques des arbres de défaillances et d'évènements, et sont réalisés en groupe de travail. Ils permettent de visualiser :

- les scénarios susceptibles de conduire à des accidents majeurs ;
- les mesures de maîtrise des risques ;
- en conséquence directe des deux points précédents, les chemins critiques ne présentant pas suffisamment de mesures de maîtrise du risque.

❖ Avantages et limites de la méthode

La méthode du nœud papillon est un modèle utilisé pour la maîtrise des risques. Elle offre une visualisation concrète des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des éléments vulnérables identifiés. Elle permet de représenter les séquences des pannes et d'événements, ainsi que les barrières utilisées pour en interrompre ou minimiser l'occurrence de l'événement redouté central.

En revanche, cette méthode nécessite la mobilisation de ressources importantes et peut être particulièrement couteuse en temps. De plus, la représentation schématique pour les systèmes complexes peut devenir encombrante et lourde à mettre en œuvre.

❖ Mise en œuvre de la méthode [4]

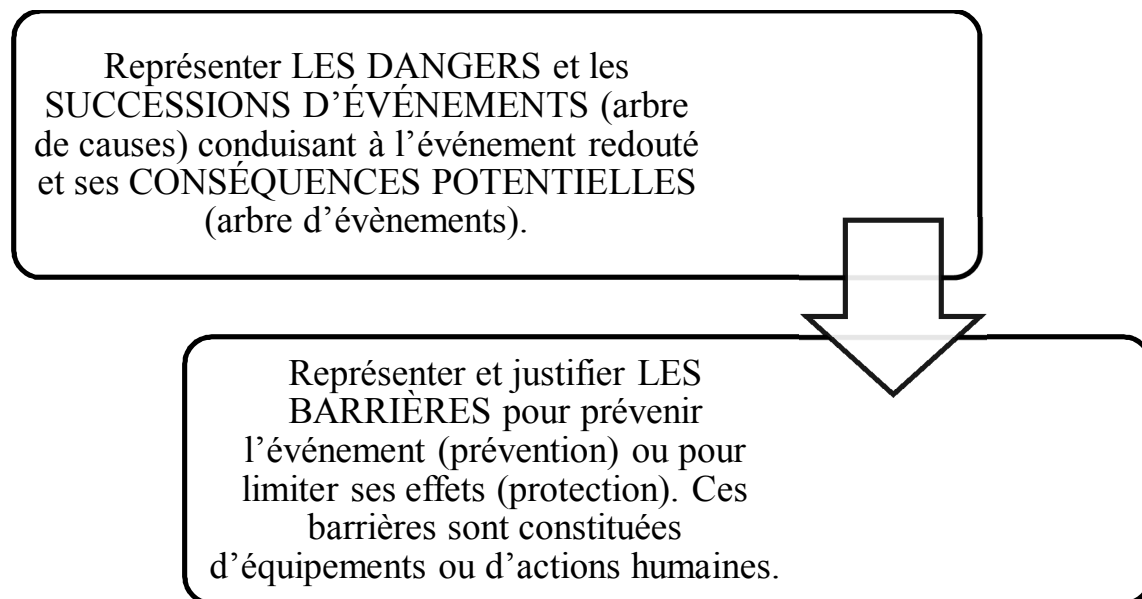


Figure 3: Mise en œuvre de la méthode Nœud-Papillon

3. Arbre des défaillances [5]

❖ Objectif

L'analyse par arbre des défaillances fût la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle vise à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à un évènement redouté pris comme référence, l'analyse par arbre de défaillances est maintenant appliquée dans de nombreux domaines y compris l'industrie chimique.

Elle est également utilisée pour analyser à posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'évènement redouté final est généralement connu car observable. On parle alors d'analyse par arbre des causes. L'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident.

❖ Principe

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un évènement redouté défini à priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet évènement. Cette analyse permet de remonter de cause en cause jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté.

La démarche d'élaboration d'un arbre de défaillances est facilitée par l'application préalable d'une méthode de type APR, HAZOP ou AMDEC.

❖ Avantages et limites :

L'analyse par arbre de défaillances permet de considérer des combinaisons d'évènements pouvant conduire à un évènement redouté. Cette démarche permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés pour montrer que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs évènements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres.

L'application de l'analyse par arbre de défaillances portant sur un évènement particulier à tout un système pour s'avérer fastidieuse. C'est pour cette raison, il est recommandé de mettre en œuvre au préalable des méthodes inductives d'analyse des risques pour permettre d'une part d'identifier les évènements les plus graves qui pourront faire l'objet d'une analyse par arbre

des défaillances et, d'autre part, de faciliter la détermination des causes immédiates, nécessaires et suffisantes au niveau de l'élaboration de l'arbre.

4. Arbre d'évènements

❖ Objectif

L'analyse par arbre d'évènements s'applique sur des sous-systèmes bien déterminés. Elle apporte une aide précieuse pour traiter des systèmes comportant de nombreux dispositifs de sécurité et de leurs interactions. Cette méthode est aussi utilisée dans le domaine de l'analyse après accidents en vue d'expliquer les conséquences observées résultant d'une défaillance du système.

❖ Principe

L'analyse par arbre d'évènements suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les évènements qui en découlent.

À partir d'un évènement initiateur ou d'une défaillance d'origine, l'analyse par arbre d'évènements permet donc d'estimer la dérive du système en envisageant de manière systématique le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention.

La démarche de réalisation d'une analyse par arbre d'évènements consiste à :

- Définir l'évènement initiateur à considérer,
- Identifier les fonctions de sécurité prévues pour y faire face,
- Construire l'arbre,
- Décrire et exploiter les séquences d'évènements identifiées.

❖ Avantages et limites :

L'analyse par arbre d'évènements permet d'examiner, à partir d'un évènement initiateur, l'enchaînement des évènements pouvant mener ou non à un accident potentiel. Elle est très utile pour l'étude de l'architecture des moyens de sécurité (prévention, protection, intervention) existants ou pouvant être envisagés sur un site. Comme elle peut être utilisée pour l'analyse d'accidents a posteriori.

Cette méthode peut s'avérer lourde à mettre en œuvre. C'est pour cela qu'il faut bien définir l'évènement initiateur que fera l'objet de cette analyse.

5. Les barrières de sécurité [6]

Nous distinguons deux catégories de barrières de sécurité : barrière de prévention et barrière de protection.

La figure ci-dessous illustre la position de ces barrières par rapport à l'évènement redouté central (accident).

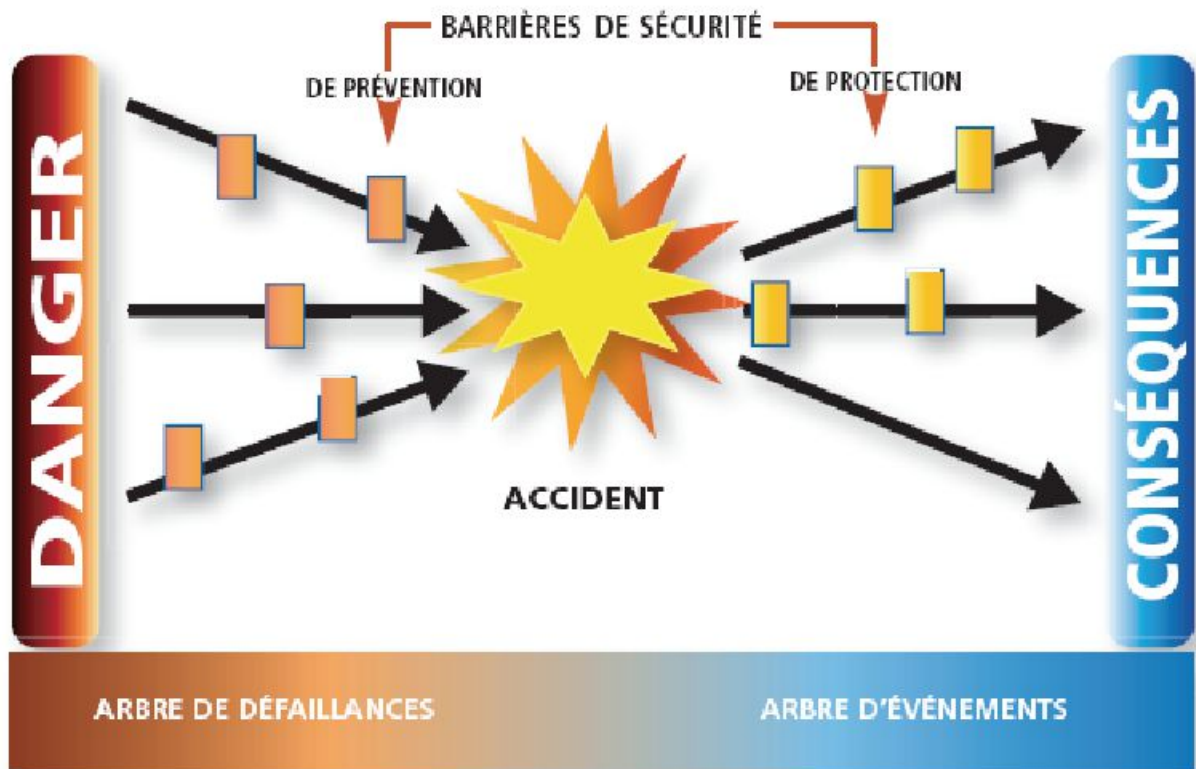


Figure 4: Barrières de sécurité de prévention et de protection

Barrières de Prévention : Barrières visant à prévenir la perte de confinement ou d'intégrité physique.

Barrières de Protection : Barrières visant à limiter les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique.

Il existe plusieurs types de barrières de sécurité, nous citons :

- Conception
- Méthodes de fabrication
- Procédure d'utilisation
- Inspection et surveillance
- Management et formation
- Système de protection

6. Etude de Cas

Après une analyse de risques effectuée sur le site d'El Merk, installation de traitement de brut, nous avons listé les scénarios capables de se produire dans la zone de réception de brut, plus précisément dans la partie séparateur primaire : slug catcher.

Le brut qui arrive au séparateur primaire: slug catcher huile/gaz/eau » subit une séparation triphasique selon la densité :

Le gaz est envoyé vers les compresseurs, l'eau est acheminée vers son unité de traitement et l'huile vers deux trains de séparation.

La photo ci-dessous nous montre l'équipement slug catcher.



Figure 5: Séparateur primaire : slug catcher de l'installation EL MERK

Tous d'abord nous allons déterminer notre évènement redouté central. Suite à une analyse HAZID suivie de l'étude HAZOP du slug catcher nous avons sélectionné l'évènement redouté central qui est : Perte de confinement du slug catcher.

Nous allons ensuite construire un arbre de défaillances (arbres des causes) qui va regrouper toutes les causes qui peuvent conduire à l'évènement redouté central.

Ensuite, après nous allons enchaîner avec l'arbre d'évènements qui va citer toutes les conséquences.

Enfin, nous allons mettre les barrières existantes, et proposer d'autres barrières de sécurité si nécessaire.

6.1. Arbre de défaillances

La figure ci-dessous représente notre arbre de défaillances.

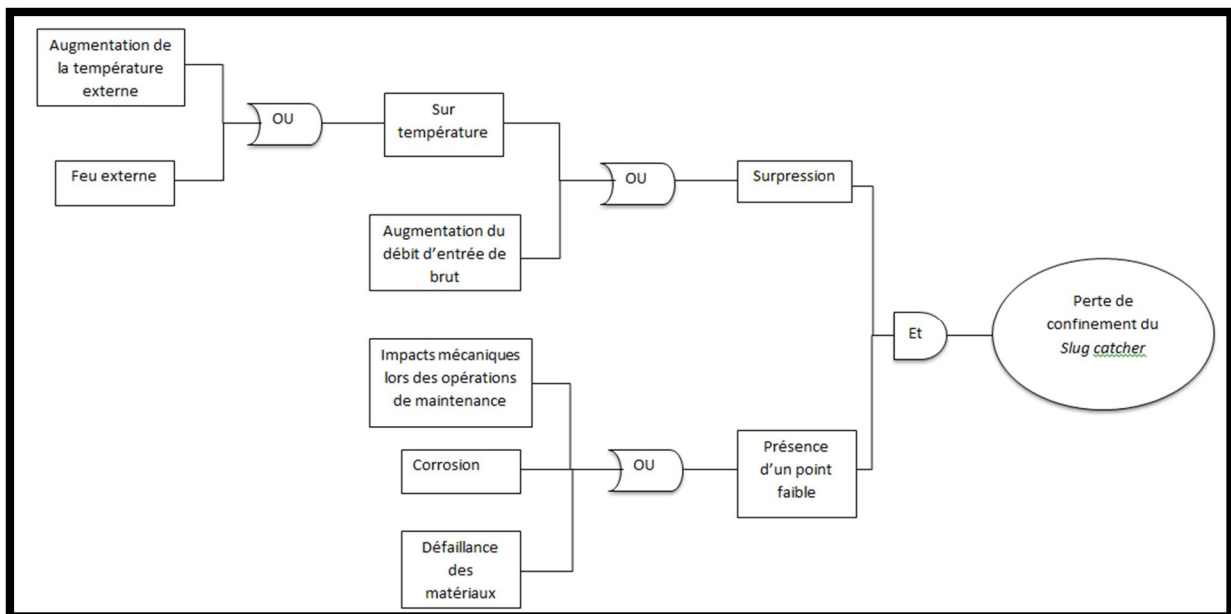


Figure 6: Arbre de défaillances

La perte de confinement du slug catcher est dû essentiellement à l'augmentation de pression combinée avec la présence d'un point faible au niveau de l'équipement slug catcher.

Cette arborescence nous permet d'aboutir aux causes principales de notre évènement redouté.

6.2. Arbre d'évènements

L'évènement redouté central peut devenir par la suite une cause pour l'occurrence d'autres évènements redoutés secondaires. Nous devons mettre en évidence toutes les conséquences issues de cet évènement pour pouvoir par la suite mettre des barrières de prévention et de protection.

La figure ci-dessous schématise l'arbre d'évènement :

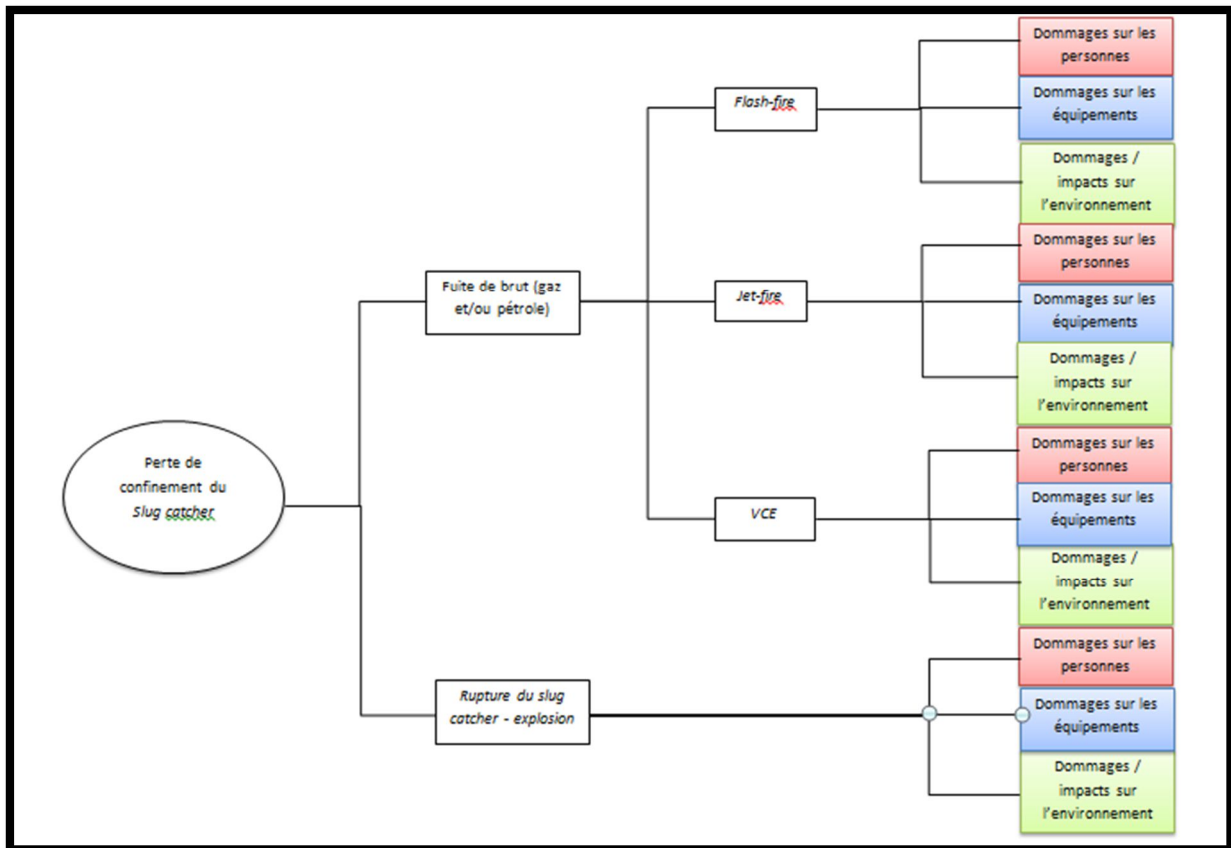


Figure 7: Arbre d'événements

Cet arbre d'événements nous indique que les scénarios retenus : rupture du slug catcher, VCE, flash-fire et jet-fire. Ils ont des impacts sur les personnes, les équipements et l'environnement.

D'où la nécessité d'introduire des barrières de prévention pour éviter que l'évènement redouté central ne survienne, et des barrières de protection pour limiter les conséquences de cet événement.

6.3.Nœud papillon

Nous allons maintenant combiner les deux arbres dans une même structure.

Pour ne pas encombrer plus notre schéma nous avons décidé de le simplifier un peu.

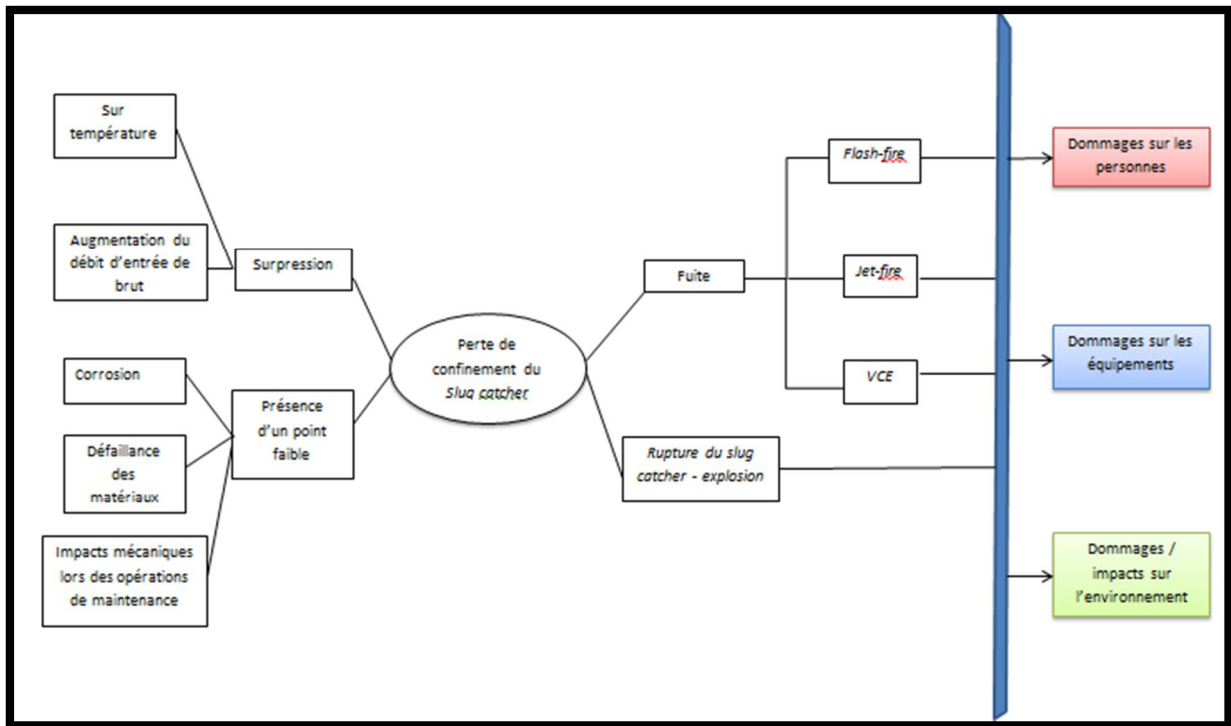


Figure 8: Nœud-Papillon du Slug catcher

6.4. Les barrières de sécurité existantes au site El Merk pour le slug catcher et les recommandations pour une amélioration de la sécurité

Les barrières de sécurité sont indispensables pour mener à bien son analyse avec le nœud papillon d'un évènement redouté.

La figure ci-dessous nous montre les différents types de barrières de sécurité existantes ;

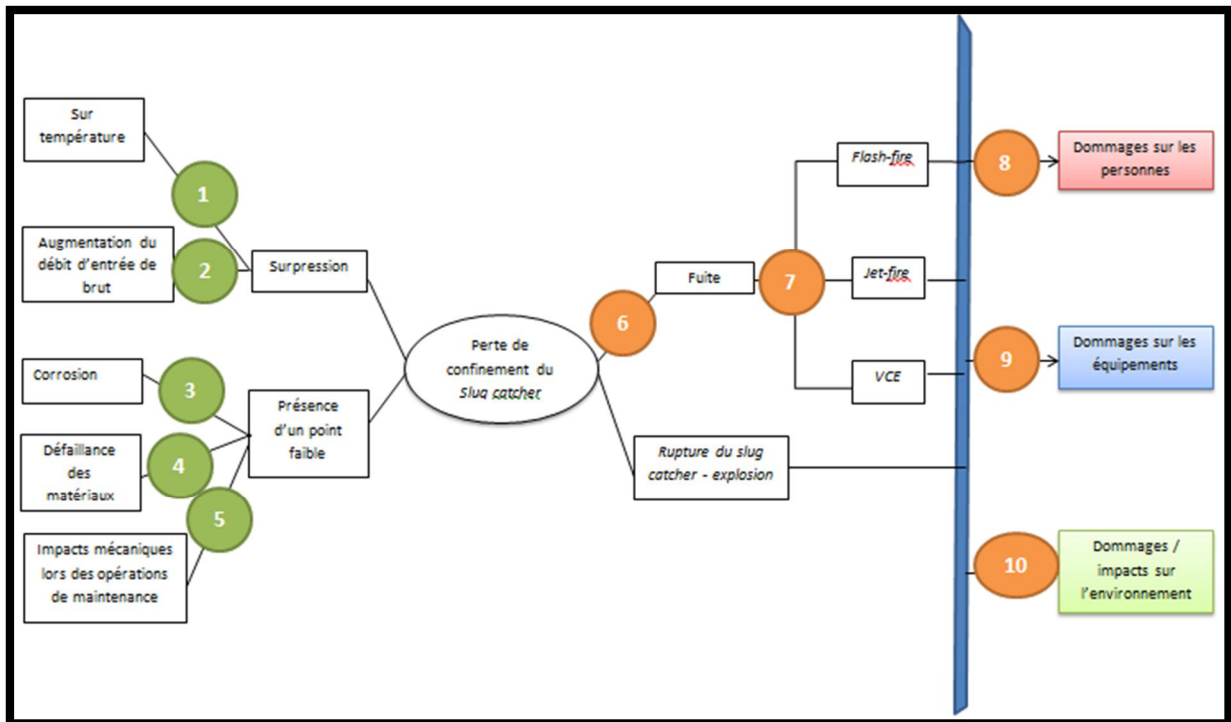


Figure 9: Nœud-Papillon muni de barrières de sécurité

Nous allons expliquer chaque barrière en se référant à la figure 9.

Les barrières de prévention sont en couleur verte alors que celle de protection son en orange.

Nous remarquons bien que les barrières de prévention sont situées à gauche de l'événement redouté central. Par contre les barrières de protection se trouvent à droite de l'événement redouté.

Les barrières de prévention

Le tableau suivant liste les barrières de prévention :

Tableau 1: barrières de prévention

Barrières	Existantes	Recommandation
1	1.1-système de refroidissement des équipements. 1.2-surveillance continu des températures et des pressions ainsi que le système d'alarme automatique. 1.3-le slug catcher est équipé de soupape	1.a-conception des équipements plus résistants à la chaleur.

	de sécurité et de vanne de dégagement vers torche de l'excès de gaz en cas de surpression.	
2	2.1-système ICSS pour le contrôle des boucles de régulation niveau ou pression et de la sécurité de tout le slug catcher.	2.a-prévoir un changement dans la boucle de régulation au cas où l'augmentation de débit va se faire (changement des vannes, actions sur les régulateurs ou bien changement de la boucle).
3	3.1-injection d'inhibiteur de corrosion en tête de puits. 3.2-raclage des canalisations pour éviter l'accumulation d'eau dans les canalisations.	3.a-surveillance des équipements par des inspections visuelles. 3.b-protection par traitement de surface de la surface externe des pipelines et des équipements.
4	4.1-matériel est conforme aux normes internationales (API). 4.2-tests en pression avant mise en service (dans la phase commissioning du projet).	4.a-certification des équipements sous pression. 4.b-planification de la maintenance, gestion de l'inspection.
5	5.1-toute activité de maintenance formellement analysée et pratiquée sous le régime de permis de travail et plan de levage en sécurité suite à une évaluation des risques.	5.a-limité l'accès aux zones vulnérables.

Les barrières de protection

Le tableau ci-dessous définit les barrières de protection employée et à mesurer pour réduire l'impact de l'événement redouté.

Tableau 2: barrières de protection

Barrières	Existantes	Recommandation
6	6.1-mise en sécurité automatique de l'installation en cas de baisse de pression confirmée.	6.a-Augmentation des inspections de routine par les opérateurs pour une détection de fuite.

	6.2-système de détection de gaz. 6.3-procédure de gestion des alarmes détection gaz.	
7	7.1-minimisation des sources d'inflammation dans les zones de process. 7.2-contrôle des sources d'inflammation par le biais du système de permis de travail (travaux à chaud). 7.3-sélection des équipements électriques selon classification ATEX.	7.a-respect des distances de sécurité entre les fire zones. 7.b-formation ATEX des opérateurs de maintenance électrique.
8	8.1-médecin et clinique sur site et ambulance disponible pour une intervention rapide.	8.a-minimisation du nombre de personne dans les zones de travail.
9	9.1-moyens de lutte incendie actifs. 9.2-camion d'intervention. 9.3-équipe d'intervention présente sur le site.	9.a-inspection et maintenance régulière des moyens d'intervention.
10	10.1-collecte par drain ouvert.	10.a-collecte des surplus par équipes d'intervention.

Nous allons maintenant répartir les barrières précédentes selon les différentes catégories.

Le tableau suivant liste toutes les barrières selon leurs catégories :

Tableau 3: Les catégories des barrières de sécurité

Catégorie	Conception	Méthodes de fabrication	Procédure d'utilisation	Inspection et surveillance	Management et formation	Système de protection
Barrière de prévention	1.2-surveillance continu des températures et des pressions ainsi que le système d'alarme	2.a-prévoir un changement dans la boucle de régulation au cas où l'augmentation de débit va se faire	3.1-injection d'inhibiteur de corrosion en tête de puits. 3.2-raclage des canalisations pour éviter	2.1-système ICSS pour le contrôle des boucles de régulation niveau ou pression et de la sécurité de	5.1-toute activité de maintenance formellement analysée et pratiquée sous le régime de	1.1-système de refroidissement des équipements. 1.3-le slug catcher est équipé de

	<p>automatique.</p> <p>1.a-conception des équipements plus résistants à la chaleur.</p> <p>4.1-matériel est conforme aux normes internationales (API).</p> <p>4.a-certification des équipements sous pression.</p>	<p>(changement des vannes, actions sur les régulateurs ou bien changement de la boucle).</p> <p>4.2-tests en pression avant mise en service (dans la phase commissioning du projet).</p>	<p>l'accumulation d'eau dans les canalisations.</p> <p>3.a-surveillance des équipements par des inspections visuelles.</p> <p>5.a-limiter l'accès aux zones vulnérables.</p>	<p>tout le slug catcher.</p> <p>4.b-planification de la maintenance, gestion de l'inspection.</p>	<p>permis de travail et plan de levage en sécurité suite à une évaluation des risques.</p>	<p>soupape de sécurité et de vanne de dégagement vers torche de l'excès de gaz en cas de surpression.</p> <p>3.b-protection par traitement de surface de la surface externe des pipelines et des équipements.</p>
Barrière de protection	<p>7.1-minimisation des sources d'inflammation dans les zones de process.</p> <p>7.3-sélection des équipements électriques selon classification ATEX.</p> <p>7.a-respect des distances de sécurité entre les fire zones.</p>		<p>6.3-procédure de gestion des alarmes détection gaz.</p> <p>7.2-contrôle des sources d'inflammation par le biais du système de permis de travail (travaux à chaud).</p> <p>8.a-minimisation du nombre de personne dans les zones de travail.</p> <p>10.1-collecte par drain ouvert.</p> <p>10.a-collecte</p>	<p>6.a-Augmentation des inspections de routine par les opérateurs pour une détection de fuite.</p> <p>8.1-médecin et clinique sur site et ambulance disponible pour une intervention rapide.</p> <p>9.a-inspection et maintenance régulière des moyens d'intervention</p>	<p>7.b-formation ATEX des opérateurs de maintenance électrique.</p> <p>9.3-équipes d'intervention présente sur le site.</p>	<p>6.1-mise en sécurité automatique de l'installation en cas de baisse de pression confirmée.</p> <p>6.2-système de détection de gaz.</p> <p>9.1-moyens de lutte incendie actifs.</p> <p>9.2camion d'intervention.</p>

			des surplus par équipes d'intervention.	n.		
--	--	--	---	----	--	--

Le nombre total des barrières de prévention est 16, ils sont répartis en 6 catégories comme le montre le schéma suivant :

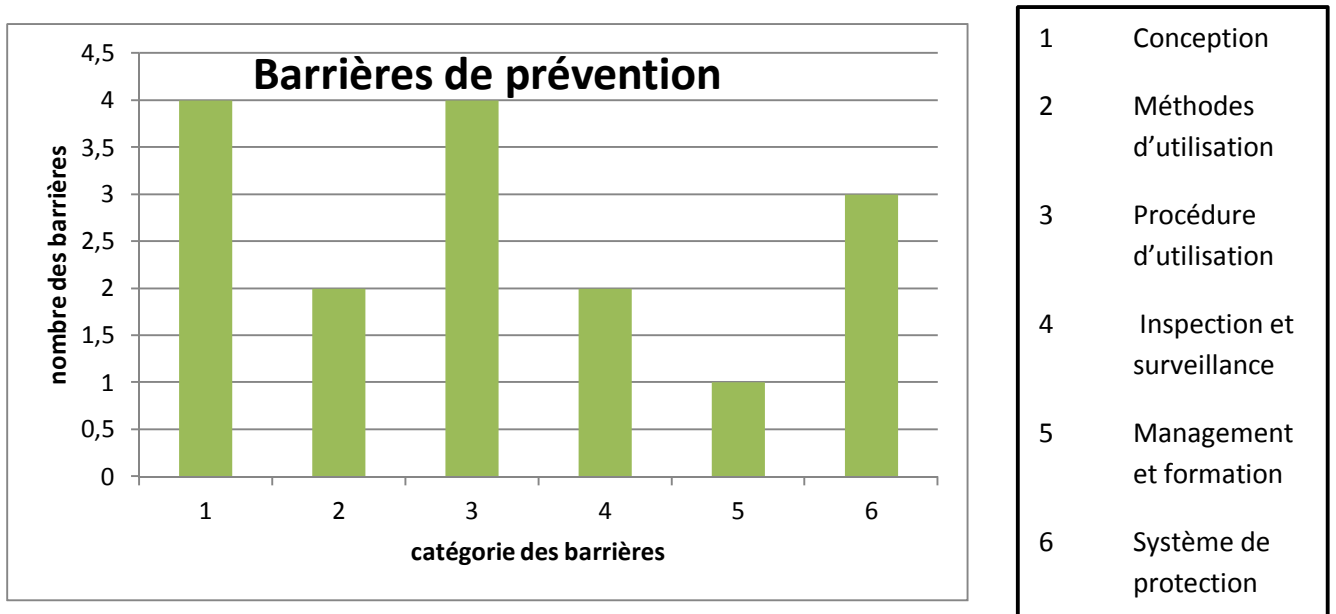


Figure 10: Répartition des barrières de prévention

Les barrières de prévention sont en généralement des barrières de conception ou procédure d'utilisation.

Le nombre total des barrières de protection est 17, ils sont répartis en 6 catégories comme le montre le schéma suivant :

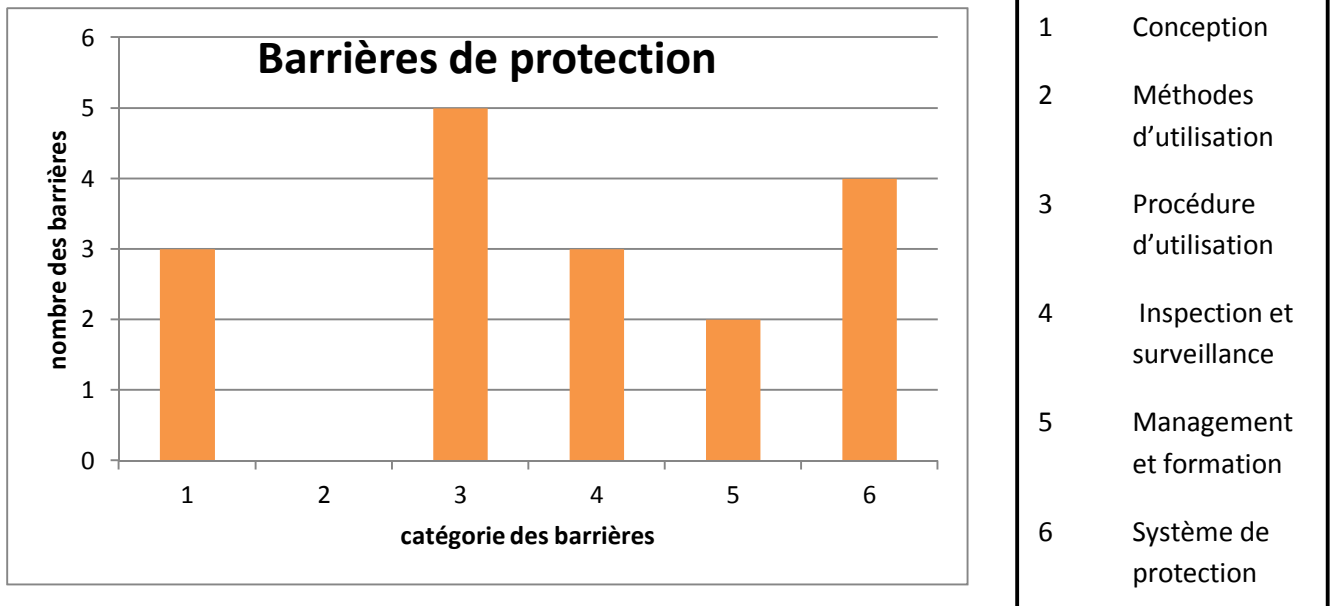


Figure 11: Répartition des barrières de protection

Les barrières de protection sont en majorité de catégorie procédure d'utilisation ou système de protection.

Remarque :

Malgré que le slug catcher est muni des équipements de sécurité sophistiqué, il est primordiale de maintenir le rôle de l'être humain et de renforcer les plannings des inspections et maintenances.

Nous avons mis en annexes l'arbre de défaillances, l'arbre d'événement et le nœud-papillon.

Conclusion

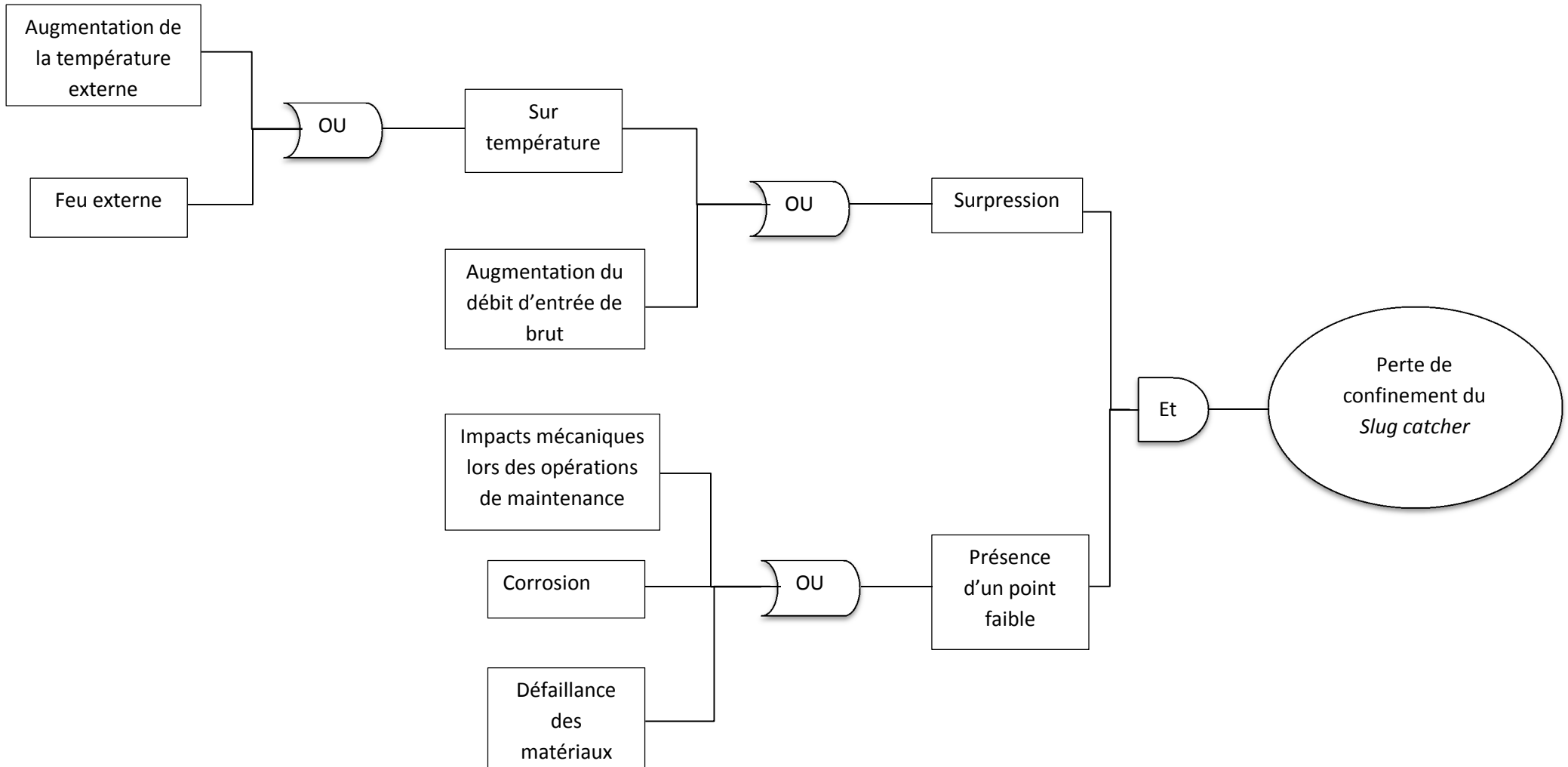
Pour prévenir la survenue d'accidents majeurs, les industriels réalisent des analyses de risques. Le retour d'expérience permet de mettre en évidence le fait que les accidents industriels majeurs sont généralement la conséquence d'un enchaînement d'événements indésirables combiné à des défaillances de barrières de sécurité. Pour analyser de tels accidents, il est nécessaire de disposer de méthodes d'analyse suffisamment fines et détaillées pour identifier l'ensemble des séquences accidentelles sans en écarter aucune à priori. Le nœud papillon permet de répondre à ce besoin en fournissant une arborescence détaillée capable d'explicitier le déroulement chronologique d'un accident.

La méthode du nœud papillon est un très bon argument en tant que tel, représentant les causalités et les conséquences d'un éventuel évènement. Elle nous permet d'avoir une vue d'ensemble sur le processus d'un accident et ainsi modéliser la nécessité des barrières et leurs champ d'action pour éviter un évènement indésirable.

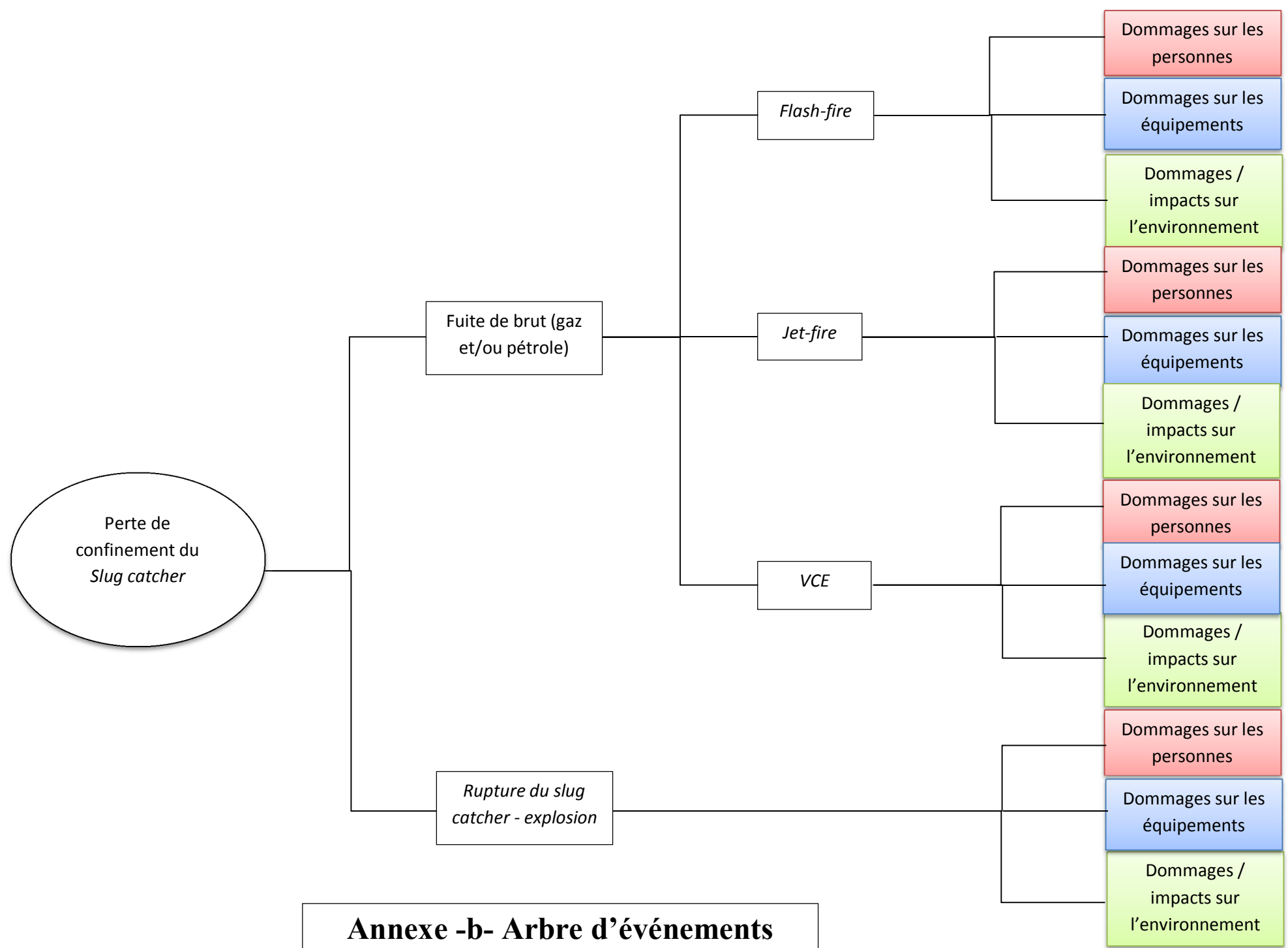
Références

- [1] Mise en œuvre de la nouvelle approche d'analyse des risques dans les installations classées, Jean Claude Couronneau, 2003.
- [2] Rapport d'oméga 7
- [3] Une méthode d'estimation de la probabilité des accidents majeurs de barrage – le nœud papillon, Christophe Bolvin, Thibault Balouin, Agnès Vallee, Yann Flauw, 2011.
- [4] Rapport n° 00697_A_F, 2006 ENSPM Formation Industrie - IFP Training.
- [5] Arbres de Défaillances, David Delahaye, 2009-2010.
- [6] INERIS (2008), Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité. Oméga 10.

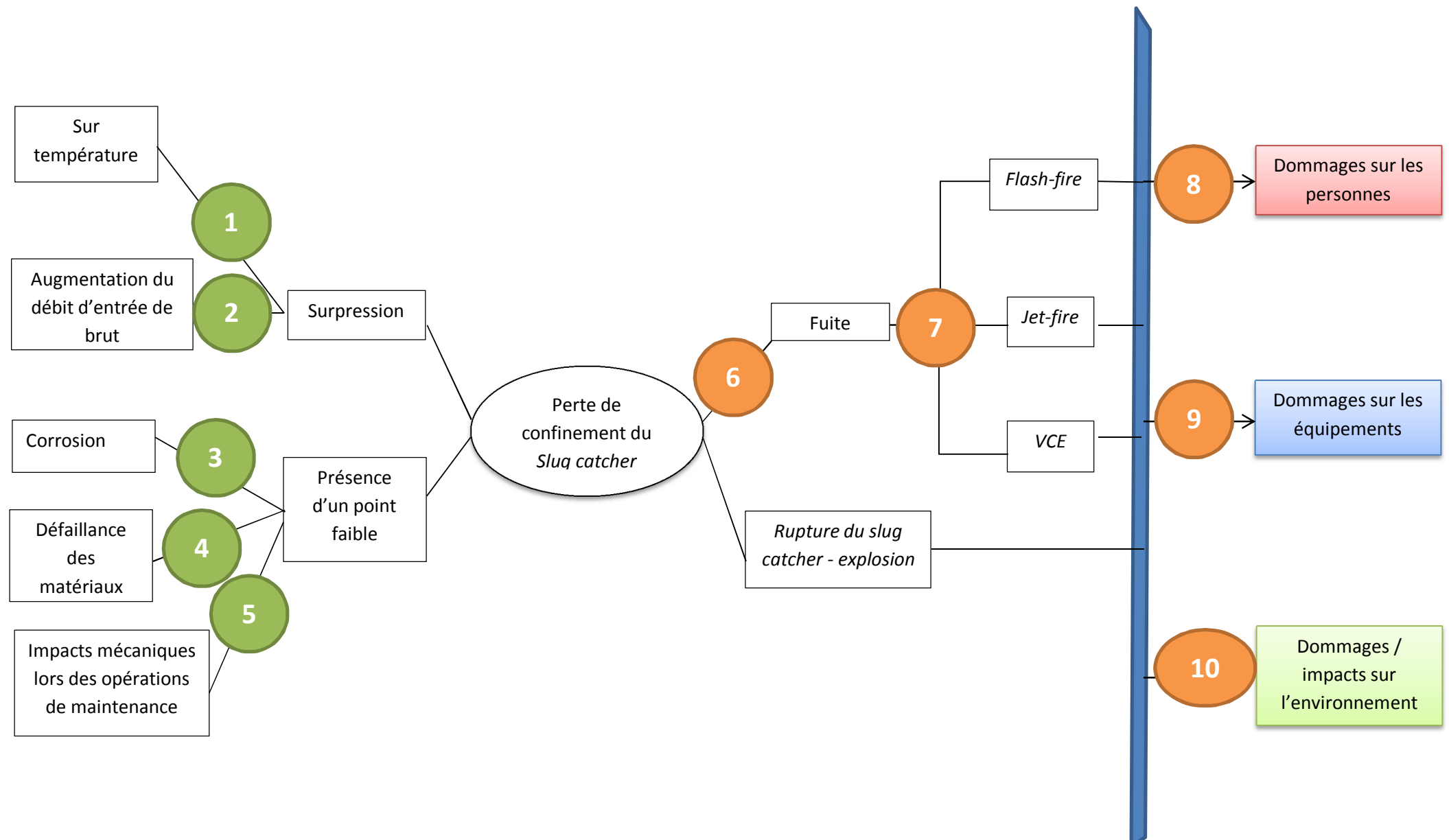
Annexes



Annexe -a-Arbre de défaillance



Annexe -b- Arbre d'événements



Annexe -c- Nœud papillon