

RAPPORT D'ÉTUDE
N° DRA-08-95321-15486B

06 / 04 / 2011

**Élaboration d'un mémento technique d'enquête
après accident**

Programme DRA-71 - Opération II.A.1

INERIS

Élaboration d'un mémento technique d'enquête après accident

Programme DRA-71 - Opération II.A.1

Verneuil-en-Halatte (Oise)

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

INERIS : Nicolas DECHY, Jean-Christophe LE COZE, Romuald PERINET,
François FONTAINE, Christian PELLIGAND, Myriam MERAD

BARPI : Denis DUMONT, J.L. CLARET

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Relecture	Vérification	Approbation
NOM	N. DECHY	V DE DIANOUS	M-A. KORDEK	S. CHAUMETTE
Qualité	Ingénieur, unité Facteurs Humains et Gouvernance	Responsable du programme Evaluation des Risques des Systèmes Industriels	Délégué Appui à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Responsable du Pôle Analyse et Gestion Intégrée des Risques
Visa				

TABLE DES MATIÈRES

1. OBJET ET CONTENU DU PRÉSENT MEMENTO TECHNIQUE.....	5
1.1 Contexte	5
1.2 Objectifs de ce memento technique	5
1.3 Eléments clés d'une investigation.....	6
1.4 Principes de bases	7
1.5 Contexte et profondeur.....	7
1.6 Organisation du memento technique.....	8
2. ACTIONS PREPARATOIRES A L'ENQUETE ET A LA PREMIERE VISITE ET AUTRES ENJEUX.....	9
2.1 La notification des accidents, incidents par l'exploitant à l'Administration	9
2.2 Informations et communication à chaud de l'exploitant	9
2.3 L'interface avec les autres parties prenantes	10
2.4 Situations d'urgences, gestion des opérations de secours et gestion de crise	10
2.5 Paramètres d'évaluation de la gravité des incidents et accidents.....	11
2.6 Paramètres d'application	11
2.7 Définition du champ de l'enquête (sur quoi va porter l'enquête ? Quels types d'enseignements veut-on tirer ?)	11
2.8 Préparation en amont de listes de laboratoires et d'experts.....	12
3. REMARQUES POUR LA CONDUITE DES ACTIONS INITIALES (1ERE VISITE, COLLECTE INITIALE DES DONNEES,...).....	13
3.1 Première visite et actions initiales	13
3.1.1 Objectifs.....	13
3.1.2 La première visite.....	14
3.2 Principes généraux d'identification des preuves et des faits	14
3.3 Appui pour la collecte des échantillons et des données et pour leur interprétation par des laboratoires et des experts	15
4. ETAPES ET PRINCIPES D' ACTIONS POUR LES ELEMENTS CLES TECHNIQUES.....	17
5. LISTE DES PRINCIPALES ACTIONS, TABLEAU DE CORRESPONDANCE DES FICHES ET LISTE DES FICHES.....	21
5.1 Liste des principales actions envisageables.....	21
5.2 Tableau de correspondance entre les 8 items clés, les 8 fiches principes de bases et les fiches pratiques détaillées	24
5.3 Liste des annexes.....	25

1. OBJET ET CONTENU DU PRÉSENT MEMENTO TECHNIQUE

1.1 CONTEXTE

L'opération II.A.1 « *Appui technique, aide à la mise en place de guides pratiques* » s'inscrit dans le cadre du programme d'Etude et d'Appui Technique (EAT) au Ministère de l'Energie, de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) relatif à l'évaluation des risques des systèmes industriels (DRA71). Le Programme d'appui technique EAT-DRA 71 résulte de la fusion de 3 programmes développés jusqu'en 2006 :

- EAT-DRA36 : Sécurité des procédés mettant en œuvre des produits dangereux ;
- EAT-DRA37 : Retour d'expérience ;
- EAT-DRA34 : Analyse des risques et prévention des accidents majeurs.

Ce programme a pour objectif de renforcer et de partager une expertise sur les systèmes industriels à risques. L'évaluation des systèmes à risques s'appuie sur l'utilisation d'outils adaptés et pertinents et sur l'utilisation de données d'entrées éprouvées, confrontées au retour d'expérience disponible. Le programme prévoit notamment d'analyser comment intégrer pratiquement le retour d'expérience, à savoir les bonnes pratiques mais aussi les enseignements issus des analyses après accidents.

1.2 OBJECTIFS DE CE MEMENTO TECHNIQUE

L'objectif de ce mémento technique est de donner à l'enquêteur ou l'analyste **des éléments de référence (ou éléments de bonnes pratiques sans visée prescriptive) pour les 4 situations ou activités** suivantes :

- analyse du rapport d'analyse d'accident de l'exploitant,
- établissement d'un bilan ou rapport d'enquête après accident,
- sollicitation d'un expert, d'un laboratoire d'analyse,
- participation à une enquête technique, administrative, ou judiciaire.

Les éléments de référence figurant dans ce document couvrent tout un ensemble d'investigations dont les champs et degré d'approfondissement dépendront essentiellement des enjeux et des conséquences liés à l'accident. Ce mémento technique vise ainsi à décrire des éléments clés des investigations associés à des principes d'action, d'analyse, d'analyse critique et des éléments pratiques pouvant servir de support à aux 4 activités cités ci-avant.

Le mémento technique couvre uniquement les champs techniques de ces activités ou situations (cf représentation sur le schéma suivant). Sont notamment exclus du champ les décisions administratives et la gestion des opérations de secours.

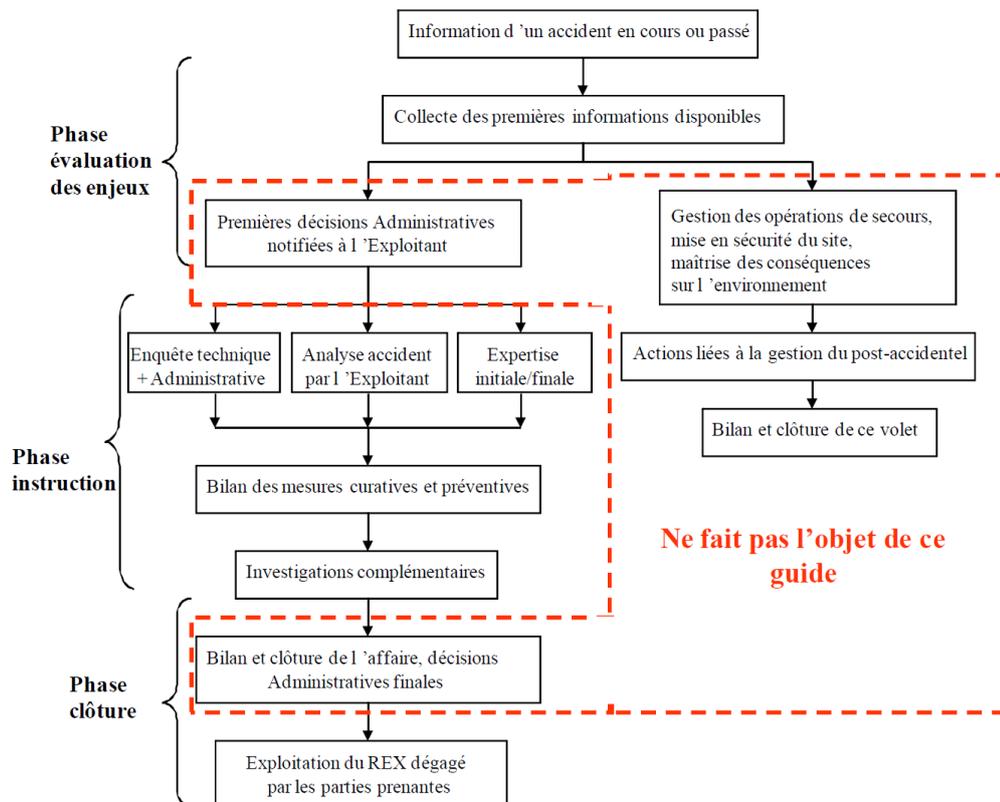


Figure 1: Principales phases et actions possibles en cas d'accident industriel

Dans ce but, cette partie introductive précise 3 aspects :

- les éléments clés d'une investigation,
- les principes de base associés à ces éléments clés,
- l'importance du contexte dans la profondeur de l'investigation.

1.3 ELEMENTS CLES D'UNE INVESTIGATION

L'investigation s'intéresse ainsi aux éléments clés suivants :

1. Evaluation des dommages et effets,
2. Chronologie des évènements,
3. Causes directes¹ (technologiques),
4. Mesures de limitation des risques,
5. Analyse des situations par rapport aux référentiels disponibles : Normes, règles professionnelles, réglementation, SGS, consignes....,
6. Causes profondes (des facteurs humains et de l'organisation).

¹ Les causes directes comportent des défaillances techniques et erreurs humaines ; pour simplifier l'utilisation de ce guide, les erreurs humaines sont traitées dans le cadre des items 4 voire 6.

Ces éléments clés sont in fine les supports de :

7. Analyse des améliorations techniques et organisationnelles proposées par l'exploitant en vue de formuler des suites administratives,
8. Etablissement du rapport d'analyse et de synthèse.

En première approche, et en complément de la figure 1, au delà des premiers éléments à collecter, ces étapes et éléments clés peuvent être représentés dans le schéma ci-après :

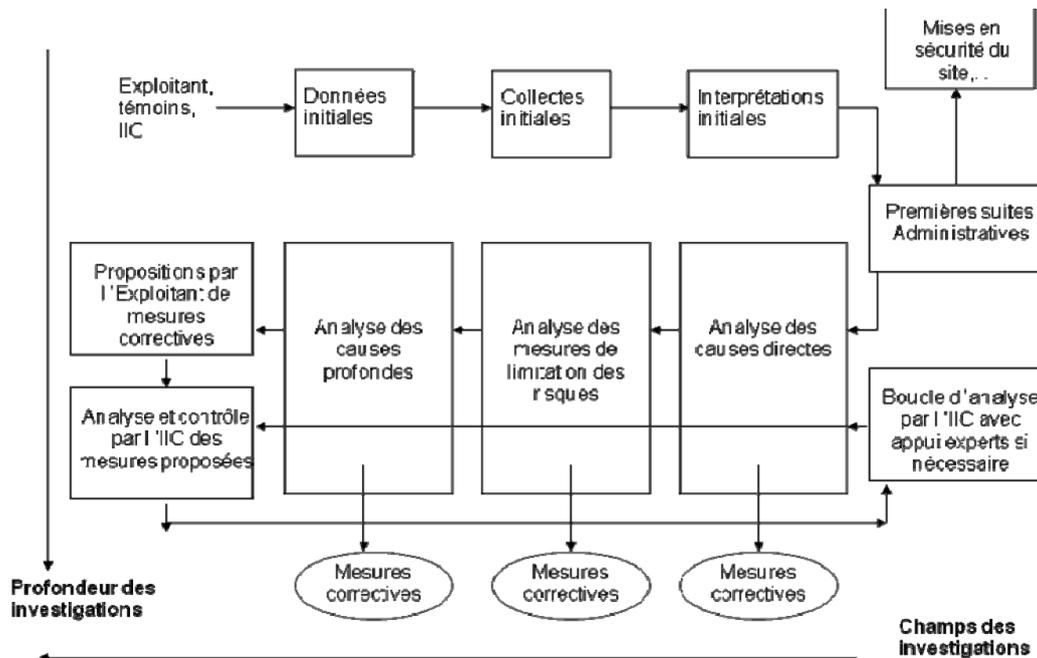


Figure 2 : Schéma global d'analyse

1.4 PRINCIPES DE BASES

Chacune des étapes dépend de données associées à leur cadre d'investigation et d'interprétation. Ce principe de base sera décliné pour chacun des objectifs de l'enquête. Ceux-ci détermineront l'importance de la qualité de la collecte des données et la variété des connaissances techniques et scientifiques liées à ces étapes.

La réalisation de ces étapes implique la couverture de champs disciplinaires des sciences de la nature et de l'ingénierie aux sciences sociales, de gestion et du droit. **Pour chacune de ces étapes, des outils et des méthodes existent et certains sont abordés dans ce mémento technique afin de constituer un recueil de pratiques efficaces.**

1.5 CONTEXTE ET PROFONDEUR

Une investigation est fortement dépendante de son contexte de réalisation.

De la même manière, l'activité de l'enquêteur par rapport à l'investigation, dépend aussi fortement de son contexte.

En effet, les différents types d'activités d'un enquêteur (analysant un rapport d'analyse d'accident d'un exploitant, établissant un bilan après accident, sollicitant des laboratoires d'analyses et des experts pour des investigations complémentaires, ou menant une enquête technique et administrative) engendrent une implication dans le processus d'investigation qui est variable.

1.6 ORGANISATION DU MEMENTO TECHNIQUE

Le contenu du mémento technique est schématisé comme suit :

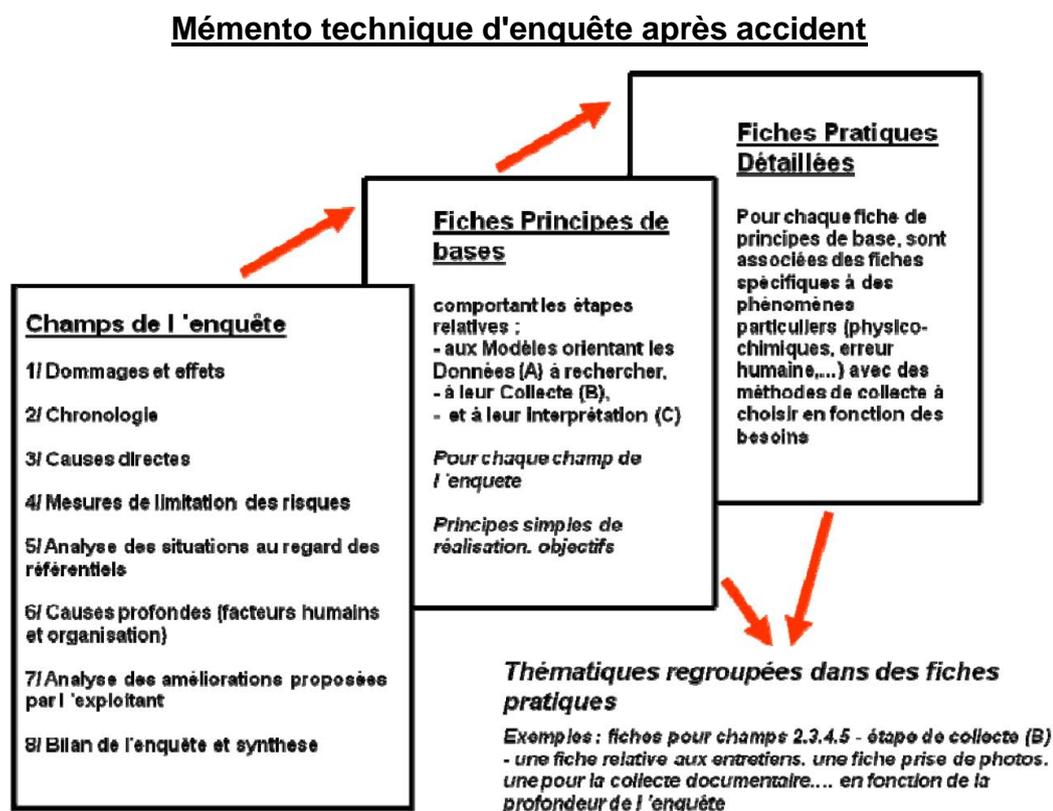


Figure 3 : Organisation du présent mémento technique

Le présent document est organisé selon **4 grandes sections** :

- **les chapitres 2, 3 présentent les étapes préliminaires et actions initiales et génériques** conduisant à préparer les investigations techniques,
- **le chapitre 4 présente les étapes et principes d'actions pour les éléments clés,**
- **une première série de fiches principes de base en annexes présente les principes** d'analyse, les enjeux des différentes étapes et les éléments clés d'une investigation dite technique,
- **une seconde série de fiches pratiques détaillées en annexes,** servira de supports opérationnels associés aux différentes étapes et éléments clés de l'investigation dite technique.

2. ACTIONS PREPARATOIRES A L'ENQUETE ET A LA PREMIERE VISITE ET AUTRES ENJEUX

A la suite d'un accident, l'enquêteur pourra être amené à engager rapidement et de manière concomitante, de nombreuses actions (des évaluations évolutives de la situation et de son contexte, premières décisions pour la conduite de son enquête technique,...). Ainsi, le chapitre 2 présente successivement :

1. la notification des événements par l'exploitant,
2. l'information et la communication à chaud de l'exploitant,
3. la communication avec les autres parties prenantes, les interfaces avec les autres enquêtes,
4. le lien avec les situations d'urgence, la gestion des opérations de secours et gestion de crise,
5. l'évaluation de la gravité des conséquences,
6. les paramètres d'appréciation de l'accident ou de l'incident,
7. la définition du champ de l'enquête technique, 8. la préparation en amont de liste de laboratoires et experts.

2.1 LA NOTIFICATION DES ACCIDENTS, INCIDENTS PAR L'EXPLOITANT A L'ADMINISTRATION

Le délai d'information voire de notification aux Autorités est très variable.

En cas accident ou d'incident, la législation des IC exige un devoir d'information des exploitants envers les autorités compétentes. Au delà, après que la situation d'urgence a été gérée par l'Industriel et les Pouvoirs Publics, la législation (Article R512-69) exige la transmission à l'IIC d'un rapport d'accident voire d'un rapport d'incident sur demande de l'IIC.

2.2 INFORMATIONS ET COMMUNICATION A CHAUD DE L'EXPLOITANT

L'exploitant suite à un accident pourra être amené à organiser une information à chaud de plusieurs parties prenantes dont l'Inspection des IC.

Les premières orientations de l'enquête technique seront notamment déterminées par la nature des informations communiquées à chaud ainsi que les premières interprétations qui en seront données.

2.3 L'INTERFACE AVEC LES AUTRES PARTIES PRENANTES

Plus la gravité de l'accident sera grande, plus le nombre de parties intéressées par l'analyse de l'accident et de son retour d'expérience sera important. La gestion de l'interface avec ces différentes enquêtes en cours sera un élément clé de réussite de l'enquête technique. On peut citer en particulier l'accès et le partage des informations : interviews répétées des témoins, échantillons, pièces et preuves particulière dont certaines peuvent dépendre d'investigations menées par l'Autorité judiciaire.

A titre indicatif, on peut citer plusieurs entités ou parties prenantes organisant des enquêtes, assistées par des experts internes ou externes, des assureurs ou des avocats :

- l'enquête interne menée par le management, la direction, le groupe,
- le CHSCT,
- les syndicats de l'usine,
- l'Inspection des IC,
- le tiers-expert,
- l'Inspection Générale de l'Environnement, et les autres entités équivalentes dans les autres Administrations concernées,
- la police, la gendarmerie et la justice,
- l'inspection du travail,
- la police des eaux,
- les assureurs,
- le CLIC,
- le syndicat de gestion des eaux,
- les divers sous-traitants ou clients impliqués,
- l'association de victimes,
- des parlementaires,
- les services de secours,
- les journalistes.

Les parties prenantes sont aussi des sources d'informations à privilégier pour obtenir des éléments sur le contexte de l'accident.

2.4 SITUATIONS D'URGENCES, GESTION DES OPERATIONS DE SECOURS ET GESTION DE CRISE

Lorsqu'un accident/incident survient, les premières sollicitations de l'enquêteur peuvent être en lien avec les enjeux de gestion des opérations de secours et de protection des populations et de l'environnement engagées par les services compétents de l'Etat. La gestion de crise n'est pas visée par le présent mémento.

Les diverses entités de gestion des opérations de secours détiennent des informations sur le déroulement des événements qui peuvent le cas échéant être utiles pour l'enquête.

Par ailleurs, et pour les besoins d'une éventuelle future enquête, la tenue d'une main courante sur la succession des événements peut être utile à ce stade.

2.5 PARAMETRES D'EVALUATION DE LA GRAVITE DES INCIDENTS ET ACCIDENTS

Les accidents, incidents dont l'IIC reçoit la notification directe ou indirecte peuvent être appréciés selon leurs conséquences avérées et/ou potentielles, immédiates et/ou différées.

Pour de plus amples informations sur des niveaux de gravité de conséquences, il est possible de se reporter à l'échelle européenne des accidents incluse dans la fiche interne de l'IIC relative à la communication à chaud.

2.6 PARAMETRES D'APPRECIATION FACE A UN ACCIDENT

Après notification ou information d'un incident ou accident, l'enquêteur pourra être amené à prendre les premières décisions quant à son positionnement (cf 1.2) et quant aux orientations techniques de l'enquête - ainsi que de celles fixées aux industriels - au regard d'un contexte.

Ce contexte va évoluer dans le temps. **Ce contexte fait intervenir plusieurs dimensions** comme :

- la gravité de l'accident, ses effets et conséquences (avérées et/ou potentielles) sur l'homme, l'environnement et les biens, et sur l'atteinte de cibles ou enjeux dans le domaine public,
- la vulnérabilité des enjeux exposés, - L'urgence de prendre diverses mesures (sanitaires, sécurisation) après un accident,
- le risque de sur-accident ou d'effets dominos,
- la situation administrative du site et celle liée à l'accident, - Les enjeux socio-économiques, politiques,
- l'intérêt que l'accident ou incident peut représenter en terme de retour d'expérience,
- le délai d'information des parties prenantes et de l'IIC par l'exploitant (qui peut être trop tardif et rendre difficile un relevé des effets ou dommages).

2.7 DEFINITION DU CHAMP DE L'ENQUETE (SUR QUOI VA PORTER L'ENQUETE ? QUELS TYPES D'ENSEIGNEMENTS VEUT-ON TIRER ?)

L'une des premières orientations de l'enquête technique est de définir la nature et la portée des champs des investigations. Ceux-ci pourront être définis au vu des informations initiales et partielles, du positionnement initial et final de l'enquêteur et seront revus avec les informations collectées en cours d'enquête.

Après la visite initiale, au regard de la nature des enseignements que l'on veut tirer de l'événement (ex. portant sur les procédures, sur la technique, sur l'organisation, sur la réglementation,...), il sera important d'identifier les objectifs de la poursuite de la collecte et de l'analyse des données.

De même, des acteurs externes (experts, laboratoires) pourront appuyer l'enquêteur sur des champs d'investigations à définir en fonction des objectifs retenus. Il en est de même pour les tierces-expertises de l'analyse de l'accident rendue par l'Industriel et ses propres experts.

A titre indicatif, il est possible de **distinguer les différentes dimensions qui seront incluses ou non dans le champ des investigations** :

- l'accident en lui-même et ses « causes directes » (de type causes technologiques),
- les défaillances des mesures de limitation des risques (des barrières et contrôles en prévention, mitigation, protection, intervention, communication), les erreurs humaines,
- le contexte technique, humain et organisationnel, (historique, économique,...) et les « causes profondes »,
- le phénomène accidentel et ses effets (conséquences avérées ou potentielles) sur les personnes, les biens et à l'environnement,
- les actions internes de maîtrise des fonctionnements en mode dégradé,
- les actions externes des services d'urgences et de secours,
- les actions d'évaluation de la surveillance, de dépollution, de remise en état, de retour à la normale et de redémarrage,
- les non conformités aux référentiels.

De manière générale, l'investigation de ces dimensions visera dans un premier temps à révéler les faits et établir la chronologie de ceux-ci.

Il est possible pour guider l'enquête de s'appuyer sur les questions clés Qui ? Quoi ? Comment ? Où ? Quand ?...

Deux fiches pratiques (A et B) sont proposées pour préciser ce que l'on entend par accident avec une illustration par un exemple. Enfin de nombreuses fiches pratiques sont proposées pour faciliter le questionnement sur l'ensemble des champs de l'enquête.

2.8 PREPARATION EN AMONT DE LISTES DE LABORATOIRES ET D'EXPERTS

Afin d'améliorer la réactivité de l'enquêteur et des laboratoires et experts sollicités, il est utile de se référer à des listes de prestataires, de laboratoires et d'experts locaux et nationaux spécifiques pour les situations rencontrées et au regard des différents éléments clés de l'investigation et de leurs étapes respectives (ex : peu de laboratoires peuvent analyser des dioxines formées lors d'incendies de certains transformateurs).

Ces listes pourraient comporter aussi les intervenants spécifiques à des mesures d'urgences à prendre (ex : barrage flottant sur un cours d'eau), sur la réhabilitation (ex : traitements des déchets) de la zone.

3. REMARQUES POUR LA CONDUITE DES ACTIONS INITIALES (1^{ERE} VISITE, COLLECTE INITIALE DES DONNEES,...)

Ce chapitre se positionne au moment où l'enquêteur pourrait être amené à déclencher une enquête.

Pour mémoire et comme indiqué précédemment, la nature des investigations va être influencée par :

- le positionnement de l'enquêteur au regard du contexte de l'accident (instruction d'un rapport d'analyse d'accident/incident de l'industriel, bilan après accident, participation à une enquête technique, intervention en appui de l'Autorité judiciaire...),
- les objectifs des investigations (cf chapitre 2.7),
- les phénomènes rencontrés (explosion de gaz, poussières, explosifs ; incendie de solide, liquide, feu torche, BLEVE, Boil over ; fuite d'un toxique gazeux, liquide, fumées toxiques ; pollutions accidentelles de l'eau, l'air, sol...) ou presque accidents.

Ces paramètres vont influencer la nature des données à collecter, la nature des champs disciplinaires nécessaires à leur interprétation et le niveau de profondeur ou d'expertise requis pour l'ensemble de l'enquête, la première visite et les premières constatations.

Ce chapitre propose de présenter des étapes préliminaires, actions initiales prévues pour préparer dans un second temps (chapitre 4) l'analyse des éléments clés des investigations (dommages/effets, chronologie, causes technologiques, barrières et contrôles, évaluation de la conformité aux référentiels, et causes profondes).

Ces étapes préliminaires, actions initiales et génériques sont articulées selon 3 thématiques :

1. actions initiales dont la première visite,
2. identifier les preuves et faits, preuves non pérennes et témoignages à chaud,
3. se faire appuyer pour la collecte des échantillons et données et leur interprétation : laboratoires et experts.

3.1 PREMIERE VISITE ET ACTIONS INITIALES

3.1.1 Objectifs

Dès qu'un accident survient, l'enjeu prioritaire est de collecter des faits, preuves, et témoignages, sur la zone accidentée pour, dans un second temps, analyser ce qui s'est produit. Ainsi, plus le temps passe, plus la disponibilité et la qualité des faits se dégradent et ce dès les premières heures qui suivent l'événement.

En effet, le phénomène (par exemple un incendie) peut détruire des preuves. L'intervention des secours peut amener des déplacements de faits, à leur dégradation voire disparition (au contact de l'eau sous pression). Une coordination et coopération avec les services de secours, et l'Autorité judiciaire si elle est impliquée, est à privilégier pour la collecte des faits et le partage d'informations.

Une première visite peut être engagée et aura pour objet de se faire un premier jugement sur les circonstances, le déroulement de l'événement et ses conséquences.

De plus, la première visite de l'enquêteur doit donc s'envisager le plus rapidement possible en liaison avec l'Exploitant **afin de préserver la zone des faits**. Une connaissance de la position par rapport aux référentiels (administratifs,...) du site est un plus mais n'est pas indispensable pour la 1^{re} visite.

Cette action initiale conditionne donc grandement la réalisation de l'enquête technique et est à envisager comme une action préparatoire essentielle au déroulement de l'enquête.

3.1.2 La première visite

Cette première visite s'organise en lien avec la hiérarchie, au regard des informations disponibles, afin de s'équiper, le cas échéant après analyse des risques, d'équipements de protection individuel.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche D relative à l'équipement Hygiène Sécurité et Environnement.

Il peut être conseillé de se déplacer à au moins 2 personnes (afin de croiser à la fois le recueil de données sur le terrain, les échanges et l'analyse en interne mais aussi dans le cadre de témoignages ultérieurs).

D'autre part, pour la première visite de terrain en vue de préserver la zone des faits et de collecter ces derniers, des matériels nécessaire à la prise photos et à la collecte d'enregistrements peuvent être emportés. La disponibilité de ces équipements et matériels permettra d'accroître la réactivité et la sécurité de la mission.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche C relative à la check-list des actions initiales pour la 1^{ère} visite.

3.2 PRINCIPES GENERAUX D'IDENTIFICATION DES PREUVES ET DES FAITS

Concernant les preuves et faits matériels, le premier enjeu est l'identification des équipements et des matériaux qui auraient pu être impliqués dans l'accident. Quelques exemples de questions simples, peuvent aider à identifier des objets, échantillons clés potentiellement utiles pour l'investigation.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche C relative à la check-list des actions initiales pour la 1^{ère} visite.

Lors de la **1ère visite**, on s'attachera notamment à la collecte et la préservation des faits et de **preuves non pérennes**, qu'elles soient matérielles (documentation, enregistrement de procédé, vidéo, photos) et immatérielles (témoignages à chaud).

En effet, il est nécessaire de collecter ces preuves non pérennes, rapidement après l'accident, avant que des modifications (ex : nettoyage, actions des services de secours, modification par les effets de l'environnement et de la météo, évolutions chimiques) n'interviennent sur les éléments impliqués dans l'accident.

Il est également souhaitable de conduire aussi vite que possible des **témoignages à chaud** qui viseront à décrire les faits (ce qui s'est passé uniquement) afin d'éviter les biais d'interprétations (pourquoi cela s'est passé) qui vont s'installer progressivement dans la perception et la représentation que les témoins ont des faits.

3.3 APPUI POUR LA COLLECTE DES ECHANTILLONS ET DES DONNEES ET POUR LEUR INTERPRETATION PAR DES LABORATOIRES ET DES EXPERTS

Dans certains cas, en fonction des enjeux, de l'urgence, de l'expertise requise, des prestataires, laboratoires et experts seront à solliciter pour la collecte des données, des échantillons et leurs analyses.

L'exigence de fiabilité des preuves et de représentativité des échantillons sera croissante en fonction des enjeux de l'accident et pourra être très importante dans le cadre de procédures judiciaires où ces biais et risques seront débattus. Dans ce cas, une expertise croissante sera recherchée pour ce type d'échantillonnages.

Ce qu'il convient de retenir est que ces échantillons ou faits peuvent être modifiés ou pollués lors de la collecte au regard d'un matériel, de l'emploi d'une méthode inadéquate, lors du transport ou leur conservation. La préservation des échantillons nécessite aussi de prévenir des modifications de ces derniers par leur contenant, leur environnement (température, exposition à la lumière, concentration en oxygène).

Par ailleurs, il sera nécessaire de repérer des échantillons caractéristiques, de les localiser, d'identifier leurs origines, et de les tracer une fois collectés. Des principes de marquage, du matériel de collecte des échantillons sont utilisés par les laboratoires et experts et peuvent être rappelés.

4. ETAPES ET PRINCIPES D' ACTIONS POUR LES ELEMENTS CLES TECHNIQUES

D'une manière générale, les 2 objectifs principaux poursuivis au cours de l'enquête sont :

- de parvenir à structurer ce que l'on sait de l'événement à un moment donné dans l'investigation,
- de structurer la recherche et la collecte de ce que l'on ne sait pas encore.

Remarques : *L'un des dangers de l'investigation est de rechercher ce que l'on pense être arrivé plutôt que ce qui s'est réellement passé. L'utilisation rigoureuse de méthodes et d'approches structurées peut permettre de limiter voire d'éviter ces biais. En particulier, un certain nombre d'outils facilitent la communication au sein de l'investigation et permettent un partage transparent des résultats qui doivent être supportés par des faits. Néanmoins, un accident, en tant qu'objet d'étude, fait appel aux capacités des acteurs à collecter et interpréter a posteriori un certain nombre de faits. Il est dépendant de leurs connaissances a priori. En d'autres termes, les conclusions d'une investigation ont le risque d'être différentes et dépendantes des investigateurs à méthode constante.*

Les connaissances initiales des enquêteurs orientent ainsi leur collecte de données. Des connaissances tirées de l'expérience de terrain et/ou disciplinaires relatives aux phénomènes en jeu avec leurs dimensions techniques, humaines et organisationnelles sont néanmoins nécessaires pour la conduite de l'enquête. Ce support se matérialise dans :

- la connaissance des données initiales à rechercher, qu'elles soient liées à un modèle de phénomène ou à un constat,
- dans la capacité à les collecter (que ce soit un dommage, un échantillon, ou une information lors d'un entretien),
- et dans la capacité à interpréter ultérieurement ces données.

Des 2 remarques précédentes, il est possible de tirer le schéma suivant :

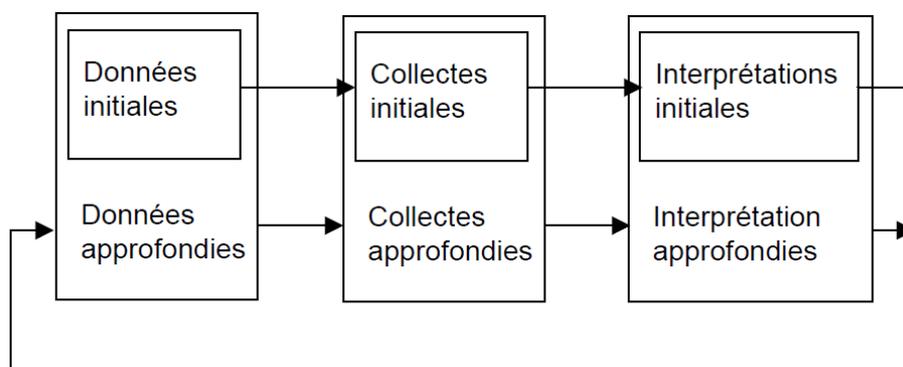


Figure 4 : Liens entre données, processus de collecte et d'interprétation

Ce principe général et simplifié est retenu pour les items clés dans les chapitres suivants.

Les items clés objets de l'investigation :

- Dommages et effets
- Chronologie
- Causes directes (technologiques)
- Mesures de limitation des risques
- Analyse des situations / référentiels
- Causes profondes (facteurs humains et organisation)
- Analyse des actions correctives

Tableau 1 : Items clés dans une investigation

Que ce soit pour les données initiales, la collecte et l'interprétation, des approches, des méthodes, des outils analytiques et des modèles existent. Leur utilisation est déterminante quant à l'efficacité et la profondeur des investigations.

D'une manière globale il est possible de lister dans une vision linéaire les étapes à réaliser dans une investigation s'appliquant aux items clés :

Vision linéaire des étapes

- Initiation et première visite
- Collecte et recherche de faits
- Analyse des faits
- Intégration et hypothèses
- Résultats et conclusions
- Bilan et rapport

Tableau 2 : Étapes dans une investigation et vision linéaire

En réalité, l'investigation et les étapes citées précédemment seront réalisées de manières itératives (figure 4) et occuperont (en terme d'allocation des ressources) des proportions variables dans le temps (cf figure 5 ci-dessous).

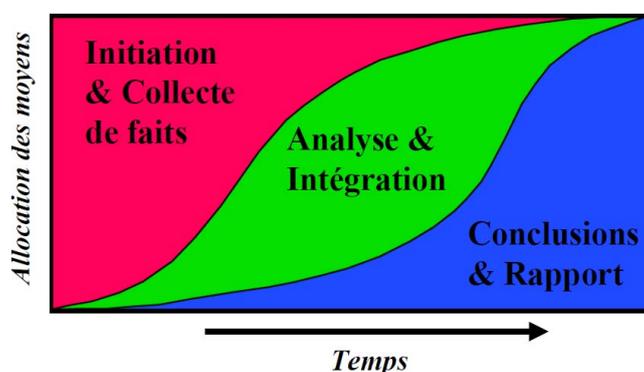


Figure 5 : Allocation des ressources dans le temps d'une investigation au regard du déroulement de l'enquête et de ces principales étapes (Source NRI / US DOE)

Ainsi au delà du démarrage de l'enquête avec les **actions initiales et la première visite** (détaillées au chapitre 3), chacun des **éléments clés** de l'investigation (dommages/effets, chronologie, causes directes, barrières et contrôles, évaluation des conformités aux référentiels et causes profondes) se basera sur des **principes** de réalisation articulés selon la représentation de la figure 4 (Données, Collecte, Interprétation).

Ces principes feront l'objet de fiches **support méthodologique** (1^{ère} série de **fiches de principes de base** en annexe A) et les outils pratiques sous formes de **fiches pratiques détaillées** (2^{nde} série de fiches détaillées en annexe B). L'articulation méthodologique du memento technique ainsi obtenue est résumée sur la figure suivante.

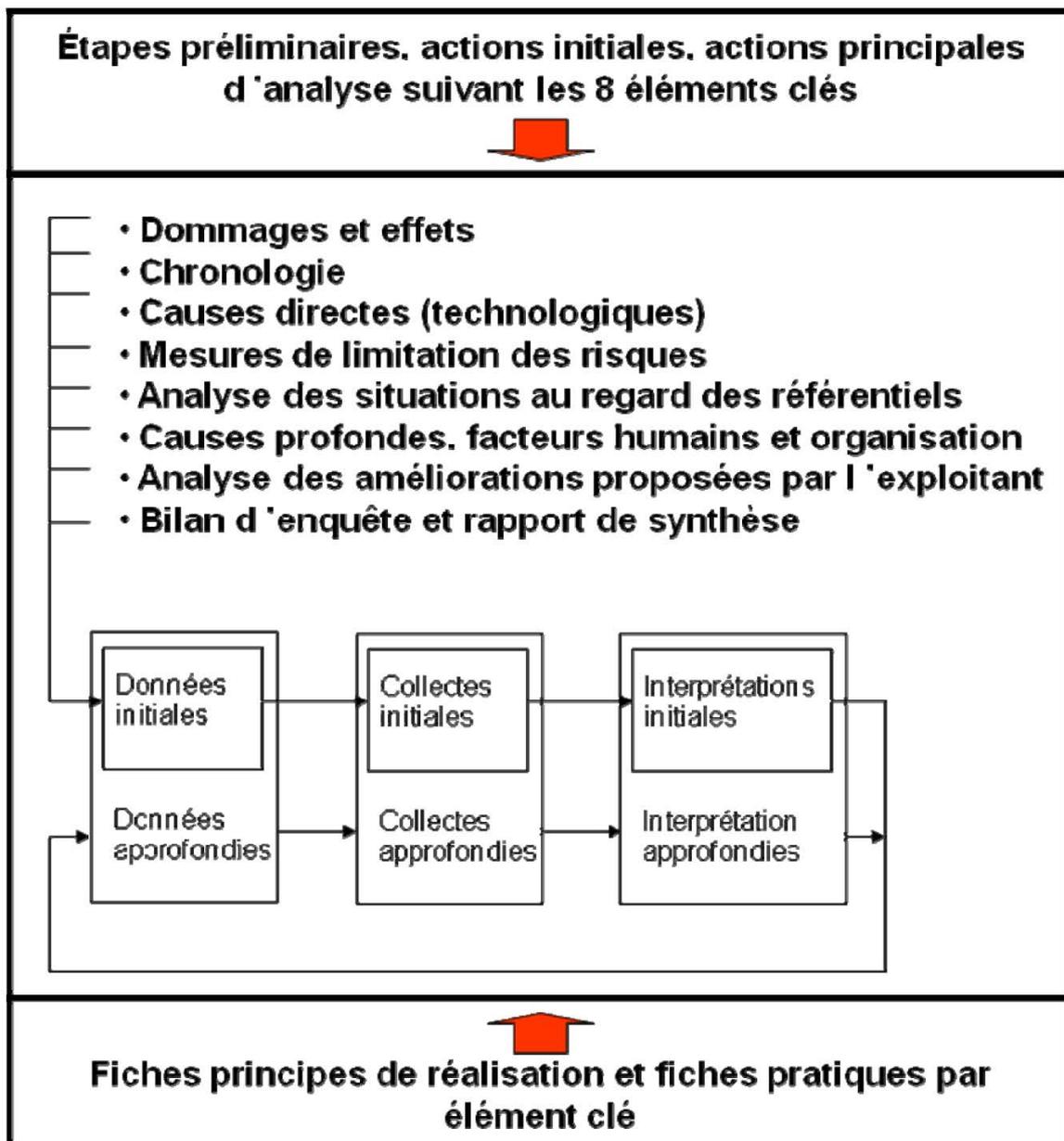


Figure 6 : Articulation méthodologique du memento technique d'enquête après accident

5. LISTE DES PRINCIPALES ACTIONS, TABLEAU DE CORRESPONDANCE DES FICHES ET LISTE DES FICHES

5.1 LISTE DES PRINCIPALES ACTIONS ENVISAGEABLES

Ce tableau a pour objectif de synthétiser l'ensemble des principales actions potentielles à engager à la suite de l'information sur un accident ou la notification par l'Industriel de l'incident ou de l'accident.

Chapitre	Actions à envisager le cas échéant
2.1 : Les informations partielles initiales liées à la notification	Échéance d'engagement de l'industriel d'une démarche de retour d'expérience et de la transmission d'un rapport d'analyse
2.2 : Informations à chaud	5.1.1 Collecte des informations à chaud de l'Exploitant pour obtenir les premiers éléments factuels collectés
2.3 : Interfaces avec les autres enquêtes	Identification des interfaces, engagement de relations appropriées avec les autres parties prenantes : collecte et partage d'information
2.4 : Les situations d'urgence, la gestion des opérations de secours et gestion de crise	La gestion de ces opérations ne fait pas l'objet du mémento. Pour les besoins de l'éventuelle future enquête, rassembler dans une main courante l'historique des premiers constats et actions
2.5 : Evaluation de la gravité	Évaluer la gravité de l'accident au vu des informations disponibles
2.6 : Paramètres d'appréciation face à un accident	Analyse du contexte de l'accident et les enjeux qui vont influencer le positionnement de l'enquêteur
2.7 : Définition du champ de l'enquête	Définir SUR QUOI (causes techniques, causes organisationnelles,...) l'enquête va porter et les priorités de travail (Quels types d'enseignements veut-on tirer ?)
2.8 : Préparation en amont de listes de laboratoires et d'experts	Listes de laboratoires et experts usuels et spécialistes des enquêtes après accidents
3.1 : Actions initiales, première visite	Organisation de la visite initiale afin de préserver la scène des faits et collecte des premiers éléments d'appréciation de l'accident en vue de la préparation des suites techniques et administratives Réalisation de l'analyse des risques préalable et s'équiper de moyens de protection individuels pour la visite initiale Emporter le matériel nécessaire à la prise de photos
3.2 : Identifier les preuves et faits, preuves non pérennes et témoignages à chaud	Identification des premiers échantillons à faire collecter Collecte des preuves non-pérennes (enregistrements, données...) Réalisation des témoignages à chaud
3.3 : Se faire appuyer par des laboratoires et des experts	Au besoin, déléguer certaines opérations de collecte, d'analyse et d'investigation à des laboratoires d'analyses et des experts

Chapitre	Actions à envisager le cas échéant
Fiche de principes de base n° 1 : Analyse des dommages et effets	Identification du phénomène Identification du phénomène Prise de photos des dommages et effets Collecte des échantillons, des dépôts, effets thermiques, effets de pression, des dommages, des effets missiles Préservation et marquage des échantillons Faire analyser les échantillons par des laboratoires S'appuyer sur des entretiens relativement aux effets des phénomènes Analyse et synthèse des résultats
Fiche de principes de base n°2 : chronologie	Collecte des enregistrements Réalisation des entretiens relativement au déroulement des événements Interprétation les données et établissement de la chronologie
Fiche de principes de base n°3 : recherche des causes directes (technologiques)	Identification des questions clés Prise des photos Collecte des échantillons avec des dépôts, effets de pression, des dommages des effets missiles Collecte des enregistrements Collecte des documents Réalisation des entretiens Identification des potentiels d'énergie présents Recherche des sources d'inflammations Description du système, de l'activité, des changements Faire analyser les échantillons, synthétiser les résultats Etablissement de faits déduits Genèse des hypothèses de causes directes et des scénarios Evaluation de la plausibilité des scénarios Conclusion sur le scénario le plus probable
Fiche de principes de base n°4 : analyse des mesures de limitation des risques (barrières et contrôles en prévention, mitigation, protection, intervention, communication)	Identification des fonctions de sécurité en s'appuyant sur les analyses des risques Identification des caractéristiques des barrières Identification des modes opératoires et procédures Réalisation des entretiens sur les pratiques autour de ces activités Préciser l'interface homme-machine et le contexte de travail Identification de la fiabilité des équipements Repérage des erreurs humaines
Fiche de principes de base n°5 : Analyse des situations par rapport aux référentiels disponibles : Normes, règles professionnelles, SGS, réglementation, consignes	Analyse de l'étude de dangers, des normes, procédures, réglementations et des dispositions du SGS se rapportant au scénario d'accident Repérage des exigences applicables Comparaison avec les constats
Fiche de principes de base n°6 : analyse des causes profondes (des facteurs humains, de l'organisation)	Identification des flux d'énergie, les barrières et les cibles Identification et caractérisation des activités de gestion opérationnelle des mesures de limitation des risques Identification et caractérisation des activités de direction, conception, planification, du SGS

Chapitre	Actions à envisager le cas échéant
Fiche de principes de base n°7 : Analyse des améliorations techniques et organisationnelles proposées par l'exploitant en vue de formuler des suites administratives	Analyse des résultats des investigations de l'Industriel, des laboratoires d'analyses et experts Vérification de la cohérence entre les enseignements des étapes de l'investigation et l'étendue des actions correctives identifiées Compréhension des raisons des choix des actions correctives et vérification de la transformation des enseignements et actions correctives en changements effectifs
Fiche de principes de base n°8 : établir un bilan d'enquête et rapport de synthèse	Consignation dans des notes d'étapes des principaux éléments techniques, les actions en cours, et in fine un bilan d'enquête Etablissement de prescriptions au regard des propositions d'actions correctives, des investigations, des bonnes pratiques de

5.2 TABLEAU DE CORRESPONDANCE ENTRE LES 8 ITEMS CLES, LES 8 FICHES PRINCIPES DE BASES ET LES FICHES PRATIQUES DETAILLEES

Étapes de l'enquête et fiches de principes de bases	Fiches pratiques détaillées
Chap. 2 : Etapes préparatoires	A : Qu'est-ce qu'un accident ? B : exemple d'accident ancré et généré par les défaillances du système sociotechnique
Chap. 3 : Remarques sur la conduite des actions initiales (1^{ère} visite, collecte des données)	C : Check-list des actions initiales pour la première visite D : Equipement HSE pour les investigations sur site (à développer) E : Source de données et de faits F : Conduite des entretiens <u>A développer ultérieurement :</u> - X : <i>Matériel de collecte des faits</i> - X : <i>Conservation des preuves et faits</i> - X : <i>Domaine de connaissance, d'expertise, d'essais des laboratoires</i>
Fiche de principes de base n°1 : analyse des dommages et effets	E : Source de données et de faits F : Conduite des entretiens I : Equivalent TNT et collecte et interprétation des dommages des effets de pression <u>A développer ultérieurement :</u> - X : <i>Prise de photos</i> - X : <i>Collecte d'échantillons</i> - X : <i>Collecte et interprétation des effets thermiques</i> - X : <i>Collecte des traces de pollution et les effets sanitaires sur l'environnement</i>
Fiche de principes de base n°2 : chronologie	E : Source de données et de faits F : Conduite des entretiens G : Représentation graphique de la chronologie
Fiche de principes de base n°3 : recherche des causes directes (technologiques)	E : Source de données et de faits F : Conduite des entretiens H : Réalisation et analyse d'un arbre des causes J : Analyse des changements <u>A développer ultérieurement :</u> - X : <i>Prise de photos</i> - X : <i>Collecte d'échantillons</i> - X : <i>Recherche des sources d'inflammation</i>
Fiche de principes de base n°4 : analyse des mesures de limitation des risques (barrières et contrôles en prévention, mitigation, protection, intervention, communication)	K : exemple d'application de la fiche n°4 sur l'analyse des mesures de limitations des risques (barrières et contrôles) E : Source de données et de faits F : Conduite des entretiens H : Réalisation et analyse d'un nœud-papillon J : Analyse des changements
Fiche de principes de base n°5 : analyser des situations par rapport aux référentiels	D : Source de données et de faits F : Conduite des entretiens

5.3 LISTE DES ANNEXES

Référence	Désignation précise	Nombre de pages
Fiches de bases en annexe A		
1	Évaluation des dommages et effets	7 pages
2	Chronologie	3 pages
3	Recherche des causes directes (technologiques)	9 pages
4	Analyse des mesures de limitation des risques (barrières techniques et humaines)	6 pages
5	Analyse par rapport aux référentiels disponibles	2 pages
6	Analyse des causes profondes (facteurs humains et organisation)	7 pages
8	Rapport d'analyse et de synthèse	1 page
Fiches pratiques en annexe B		
A	Qu'est-ce qu'un accident ?	5 pages
B	Exemple d'accident ancré et généré par les défaillances du système sociotechnique	7 pages
C	Check-list des actions initiales pour la première visite / le premier jour	3 pages
D	Équipement HSE pour les investigations	3 pages
E	Sources de données et de faits	3 pages
F	Conduites des entretiens	8 pages
G	Représentation graphique de la chronologie	8 pages
H	Réalisation et analyse d'un arbre des causes et d'un nœud-papillon	11 pages
I	Équivalent TNT et collecte et interprétation des dommages des effets de pression	9 pages
J	Analyse des changements	5 pages
K	Exemple d'application des fiches principes de bases n° 4 sur les barrières techniques et humaines et n° 6 sur les causes profondes et le management de la sécurité	7 pages
L	Question sur les activités de gestion formelle des risques - en lien avec les causes profondes	9 pages

Annexe A

Fiches de base

Evaluation des dommages et effets

1. DONNEES RELATIVES AUX DOMMAGES ET EFFETS

L'enquête sur les dommages et les effets va porter sur les conséquences de l'accident.

Elle concerne les **trois grands types de conséquences - immédiates et/ou différées**- suivantes : **les dommages matériels, les effets sur l'homme et les effets sur l'environnement.**

Les conséquences sociales, économiques ne sont pas l'objet de ce guide d'analyse technique bien que ces conséquences auront des effets sur le contexte de l'action de l'enquêteur.

Cet intérêt pour les conséquences peut se justifier dans un premier temps pour le retour d'expérience sur la nature et la gravité des phénomènes observés.

Il permettra dès lors de fournir des enseignements plus ou moins détaillés pour les évaluateurs et gestionnaires des risques. Ce retour d'expérience pourra avoir des conséquences sur la réalisation de nouvelles analyses de risques (avec une perception modifiée des risques), sur la modélisation a priori des effets des phénomènes dangereux, sur le choix des mesures de protection (cf chapitre analyse des barrières et contrôles) et enfin être utilisé comme aide à la décision pour la maîtrise de l'urbanisation et la gestion des secours.

Dans un second temps, cet intérêt pour les conséquences peut se justifier pour conforter la recherche des causes.

En effet, il est souvent important de déterminer le terme source d'un accident. Ce terme source peut prendre la forme à la fois d'une masse explosive, d'une charge et durée calorifique, d'une quantité de produits toxiques...

Parfois les données collectées directement pour la recherche des causes sont insuffisantes pour déterminer relativement précisément le terme source.

Dès lors l'étude des conséquences, par une démarche à rebours, peut permettre d'orienter le choix de l'investigation vers le système mis en cause dans l'accident.

On s'attachera aussi à d'autres sources d'informations significatives du phénomène suspecté comme les dégâts pouvant renseigner du sens de passage d'une onde de pression (cette question est souvent importante lors d'incidents dans des procédés).

Cette démarche à rebours s'appuiera sur des modélisations des phénomènes et en particulier sur la base :

- d'approches énergétiques (explosions avec par exemple l'équivalent TNT, incendie) à partir de seuils ou dégâts typiques essentiellement sur les éléments matériels,
- sur des approches dose/réponse là aussi avec des effets de seuil caractéristiques (symptômes) sur les cibles comme l'homme ou l'environnement (faune, flore), ou l'atteinte de Valeurs Toxiques de Référence dans l'environnement ou les milieux (eau, air, sol) permettant le transfert de toxiques.

2. COLLECTE DES DOMMAGES ET EFFETS

Dans un premier temps, on s'attachera à une démarche qualitative qui visera à caractériser et cartographier les dommages ou effets de l'accident.

Il s'agira de repérer sur une carte des dommages typiques, des débris du système source ou remarquables pour l'effet qu'ils illustreront, des dépôts de produits réactifs ou réactants, des effets marquants sur l'environnement, la faune, flore.

Pour les effets sur les personnes, au-delà des premiers témoignages et informations simples, les services de secours et de santé seront sollicités.

Une description qualitative plus ou moins détaillée précisera le dommage ou l'effet caractéristique observé.

Pour la réalisation de cette étape, on s'appuiera en particulier sur la prise exhaustive de photos.

Cette action sera à réaliser dès que possible (cf actions initiales).

Dans un second temps, il s'agira de repérer, collecter des dommages ou échantillons représentatifs des effets de l'accident dans le but de réaliser des analyses qualitatives et quantitatives plus poussées avec des laboratoires et experts.

D'une manière générale, la robustesse de l'analyse augmentera avec le nombre de situations interprétables qui pourront être intégrées à des modélisations adéquates à l'aide d'outils simples ou plus complexes.

2.1 PRENDRE DES PHOTOS

Pour ce qui est des principes de prises des photos des causes, dommages ou effets de phénomènes accidentels, une fiche adaptée est jointe en annexe.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à la prise de photos

2.2 PRENDRE DES ECHANTILLONS

Certains échantillons, représentatifs d'un dommage particulier, peuvent fournir des informations plus précises des effets observés.

Des expertises dans le domaine de la résistance des matériaux peuvent être réalisées (expertise métallurgique, ...).

Des analyses similaires peuvent être réalisées pour la recherche des causes, si l'échantillon provient du système origine de l'accident.

Des dépôts de pulvérulents, poussières, liquides toxiques, de résidus de combustion impliqués dans un incendie ou une explosion peuvent présenter divers intérêts en vue de caractérisations et d'essais physico-chimiques.

Des échantillons dans le domaine des conséquences environnementales peuvent être prélevés en vue d'une étude d'impact sanitaire a posteriori.

Il s'agira de vérifier par ailleurs les conditions HSE de prélèvements et de stockage si l'Inspecteur est amené à devoir prélever et préserver certains échantillons avant l'arrivée des laboratoires spécialisés.

De manière générale, cette problématique nécessite assez souvent une réflexion poussée en parallèle pour définir avec les experts en évaluation d'impact sanitaire les polluants ou agents toxiques traceurs (parfois complexe, si le terme source est

par exemple un incendie de produits chimiques) qui vont être collectés et recherchés in situ sur des supports particuliers (terre, cultures,...), analysés en laboratoire et faire l'objet de l'étude d'impact sanitaire a posteriori.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à la prise d'échantillons

2.3 REALISER ET CONDUIRE DES ENTRETIENS

La réalisation des premiers entretiens avec les témoins de l'accident, les victimes de ces effets, devra dans la mesure du possible et de leurs disponibilités, s'effectuer le plus rapidement possible.

Des informations de l'ordre de la perception (visuelle, sonore, olfactive, tactile, vibratoire,...) seront recherchées sur le système mis en cause dans l'accident (cf recherche des causes) mais surtout ici sur les effets des événements successifs de la séquence accidentelle.

Par ailleurs, il sera utile de chercher à obtenir des informations sur les actions entreprises à la suite de l'accident sur les victimes (évacuations, soins sur place, hospitalisations), sur la zone d'effets (actions de déblaiement, déplacement de dégâts, actions des services de secours, inertage, arrosage).

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche F relative à la conduite d'entretiens

2.4 COLLECTER LES DOMMAGES DES EFFETS DE PRESSION DES EXPLOSIONS

Pour ce qui est des explosions, des dégâts typiques des effets de pression peuvent être observés, relevés, photographiés, collectés puis analysés.

Dans un premier temps, la priorité sera d'établir l'origine de l'explosion ou du système explosif. En d'autres termes, il s'agit de trouver l'épicentre de l'explosion (ex : Toulouse, Billy-Berclau) ou le système explosif (procédé, bâtiment assurant un confinement, ex : Trilport).

Dans certaines explosions de nuages de combustible gazeux, on pourra observer plusieurs « épicentres » (ex : accident de La Mède).

Dans d'autres cas, en particulier les procédés, des dommages peuvent fournir des renseignements sur la direction de propagation de l'onde de pression et ainsi permettre de remonter à l'explosion initiale.

Cette analyse et recherche qualitative sera largement supportée par des photos.

Pour des explosions avec des dommages importants, en particulier dans l'environnement, ou quand les enjeux le justifient, des estimations quantitatives seront à réaliser.

Avec pour support les principes de recherche de dommages typiques et adéquats, décrits dans la fiche I une localisation des dommages renforcée de photos permettra de faciliter la seconde interprétation des dommages après la première estimation sur place.

Un troisième niveau d'interprétation pourra venir de l'utilisation d'outils détaillés de résistance des matériaux sur la base des données ou des échantillons collectés.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche I relative aux relevés des dommages et des effets d'ondes de pression et à l'utilisation de l'équivalent TNT

2.5 COLLECTER LES DOMMAGES DES EFFETS MISSILES DES EXPLOSIONS

Pour ce qui est des explosions, des missiles du système source peuvent être projetés dans l'environnement et faire l'objet d'une analyse par une approche énergétique de type balistique.

Dans un premier temps, il conviendra de les géo-localiser et de les définir afin de permettre une analyse qualitative du système source de l'explosion.

Dans un second temps, des approches quantitatives et des collectes d'échantillons caractéristiques, pourront permettre de disposer de certains faits déduits pour l'interprétation du terme source.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative aux relevés des dommages des effets missiles d'une explosion

2.6 COLLECTER LES DOMMAGES D'EFFETS THERMIQUES

Pour ce qui est des incendies, feux torches et autres effets thermiques, des dégâts typiques peuvent être relevés. Il s'agit de repérer des éléments matériels qui ont été dégradés thermiquement.

A partir de températures critiques de dégradation, il est possible de remonter dans une certaine mesure aux flux thermiques nécessaires à ces dégradations.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative aux relevés des dommages des effets thermiques

2.7 COLLECTER LES TRACES DE POLLUTION SUR L'ENVIRONNEMENT ET DES EFFETS SANITAIRES

Pour ce qui est des traces de pollution, des effets sur l'environnement et des effets sanitaires, des éléments peuvent être collectés (liquides, poussières et dépôts, traces de toxicité ou d'agression) à la suite d'accident engendrant des rejets ou émissions (fuite, fumées d'incendie) dans et par l'un des milieux de transfert (sol, eau, air) jusqu'à des cibles environnementales (faune, flore) et humaines.

Des précautions particulières de protection HSE lors de la collecte sont à observer ainsi que pour la préservation des preuves.

L'idée principale étant de caractériser la dose reçue par les cibles, à partir de l'exposition au vecteur de pollution ou toxicité, de la comparer à des seuils de référence ou valeurs toxiques de référence (VTR) et de recouper avec les effets sur les cibles environnementales et humaines à partir de données sanitaires (de sources médicales).

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative aux relevés des traces de pollution sur l'environnement et des effets sanitaires d'un accident

3. INTERPRETER LES DOMMAGES ET EFFETS

3.1 PRESERVER LES ECHANTILLONS

Comme indiqué au chapitre précédent relatif à la collecte des dommages et des effets, des échantillons divers et variés peuvent faire l'objet d'interprétations selon divers domaines de connaissance (chimie, métallurgie,...).

Ces échantillons doivent faire l'objet d'un protocole de préservation en vue de garantir la représentativité et la validité de l'analyse et de son interprétation.

Pour les expertises judiciaires, ce point revêt un intérêt déterminant dans la défense de la robustesse de l'argumentation factuelle et interprétative.

Les laboratoires compétents développent des procédures adéquates visant aussi à ne pas contaminer la source prélevée.

A titre d'exemple, des matériaux inertes peuvent être souillés par leur environnement avant par exemple de faire l'objet d'expertises à l'aide d'outils comme le Microscope Electronique à Balayage sur la recherche de traces de substances chimiques.

Plus généralement, les dépôts de produits chimiques sur divers supports matériels ou environnementaux sont parfois instables dans le temps en particulier à des réactions d'oxydations, à la température, à l'eau, au soleil... Certains doivent être par exemple prélevés sous azote.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à la préservation des échantillons dans le temps en vu d'analyses par des laboratoires compétents

3.2 FAIRE ANALYSER LES PRELEVEMENTS, ECHANTILLONS

L'enjeu est ici de confier aux laboratoires et experts compétents le soin d'analyser et interpréter certains échantillons prélevés par l'IIC ou par le laboratoire compétent.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à la réalisation d'analyse et d'essais

3.3 ANALYSER ET SYNTHETISER LES RESULTATS

L'enjeu de cette étape est de produire dans un premier temps des faits déduits ou interprétés, des résultats d'analyses (par exemple une surpression en un point donné estimée a posteriori à partir de dégâts typiques).

Dans un second temps, ces faits déduits feront souvent l'objet d'une intégration et d'une analyse à un niveau plus global, de type comparaison, corrélation, etc... (par exemple, à partir d'une synthèse des estimations de surpression et d'une corrélation, abaque TM5-1300, on obtient un équivalent TNT d'une explosion).

Les conclusions de ces analyses seront des conclusions partielles sur certaines dimensions de l'investigation.

Elles pourront être utilisées aussi dans le processus d'analyse des autres items clés de l'investigation (exemple : croisement d'informations pour la détermination des causes et du terme source de l'accident, enseignements sur certaines barrières, sur certaines actions).

Les déductions réalisées devront le cas échéant intégrer des dimensions temporelles afin de circonscrire des relations mécanistes cause-effet.

3.4 ANALYSE DES EFFETS DE PRESSION D'UNE EXPLOSION

Au regard des points dommages effectués (à partir d'observations de terrains, de photos, d'analyses quantitatives en résistance des matériaux des observations, des échantillons), une estimation des effets de pression observé pourra être réalisée au regard d'analogies caractéristiques (seuils critiques d'effets).

L'approche pourra être plus ou moins précise et profonde selon les enjeux.

L'ensemble de ces points dommages comportant des informations (distance, niveau de pression estimé) sera compilé dans un tableau voire cartographié.

Des estimations inverses, à l'aide de modèles d'explosions adéquats (équivalent TNT pour des explosifs ou assimilation pour une simplification, modèles d'explosions de gaz, de poussières) seront réalisées.

On prendra garde lors des collectes de données et interprétations aux possibilités « d'épicentres multiples » pour ce type d'explosions.

L'utilisation d'outils en 2 dimensions voire en 3 dimensions en itération peut aussi permettre d'affiner l'interprétation.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche I relative à l'interprétation des dommages et effets et à l'utilisation de l'équivalent TNT

3.5 ANALYSE DES EFFETS THERMIQUES

Au regard des points dommages effectués (à partir d'observations de terrains, de photos, d'analyses quantitatives en résistance des matériaux des observations, des échantillons), une estimation des effets thermiques observés pourra être réalisée au regard d'analogies caractéristiques (seuils de températures critiques d'effets).

L'approche pourra être plus ou moins précise et profonde selon les enjeux.

L'ensemble de ces points dommages comportant des informations (distance, niveau de température atteint) sera compilé dans un tableau voire cartographié.

Des estimations inverses, à l'aide de modèles des phénomènes adéquats seront réalisées.

On prendra garde lors des collectes de données et interprétations aux possibilités d'effets croisés, de la possibilité de relier l'effet à la cause (phénomène).

L'utilisation d'outils en 2 dimensions voire en 3 dimensions en itération peut aussi permettre d'affiner l'interprétation.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à l'interprétation des effets thermiques

3.6 ANALYSE DES POLLUTIONS ET DES EFFETS SANITAIRES

Au regard des prélèvements effectués dans l'environnement, des témoignages (sur le rejet, ses effets et des actions de nettoyage voire de dépollution), des quantités de produits dangereux mise en jeu, une estimation de l'étendue et l'intensité des pollutions et rejets sera réalisée.

De même les données sanitaires obtenues auprès des services médicaux seront à analyser.

L'approche pourra être plus ou moins précise et profonde selon les enjeux et l'étendue des effets immédiats ou des effets différés attendus ou potentiels.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à l'interprétation des effets des pollutions sur l'environnement et des effets sanitaires

Chronologie

1. DONNEES

La réalisation de la chronologie est une étape essentielle d'une analyse d'accident et en particulier de la recherche des causes que ce soit pour les événements proches ou plus lointains.

La chronologie pourra aussi intégrer le cas échéant les interventions en situation d'urgence, la gestion et sortie de crise, la surveillance, la remise en état de l'installation ou du site, la dépollution, jusqu'au redémarrage des installations.

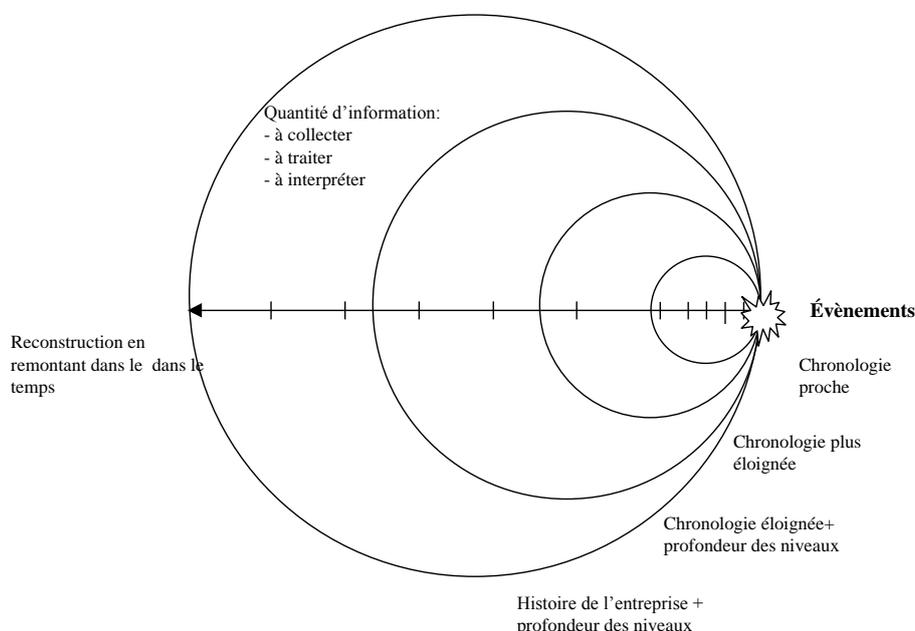


Figure n°1 : Etablir la chronologie en remontant dans le temps et quantité d'information

Il s'agit de construire, à l'aide d'une approche chronologique, une base de référence de faits sur laquelle des hypothèses lors de la recherche des causes pourront être testées.

Il s'agit de réduire les incertitudes du passé, qui reste encore inexplicé.

Cette approche, dans un premier temps temporelle, visera à organiser les données récoltées des témoignages et d'autres supports comme des enregistrements (procédés, automates, audio, vidéo).

Dans un second temps la plausibilité de l'enchaînement des événements pourra être testée.

Une application rigoureuse d'outils ou méthodes pour séquencer les événements peut être réellement utile pour clarifier ce qui s'est réellement succédé, ce qui est parfois relativement différent de ce que les investigateurs et parfois les témoins pensent être arrivé.

2. COLLECTER LES DONNEES POUR ETABLIR LA CHRONOLOGIE

2.1 COLLECTER LES ENREGISTREMENTS

Le plus rapidement après l'événement, il s'agira de rechercher avec l'Industriel les éléments d'informations sur les séquences des automates de procédé et de sécurité, des systèmes de suivi, de contrôle des procédés d'autant plus si il n'y a pas de conservation des données ou d'impression papier.

L'interrogation des fichiers de données numériques peut être envisagée avec les opérateurs.

Les cas échéant, d'autres enregistrements éventuels de vidéo-surveillance ou audio peuvent être utilisés.

2.2 REALISER ET CONDUIRE DES ENTRETIENS

L'objet de cette étape est de récolter, dans la mesure du possible, les témoignages des observateurs ou victimes de l'accident.

Cette étape doit être réalisée le plus rapidement possible pour relever le plus de faits sans que l'analyse et l'interprétation a posteriori aient trop eu le temps de se développer chez les témoins.

Cependant, il convient de garder à l'esprit qu'une dimension subjective persistera et sera dépendante des acteurs, de leur point d'observation des événements, de leur expérience, de leur compréhension et rationalisation des événements.

Il est possible et souhaitable de se rendre sur les lieux de l'accident avec les interviewés pour matérialiser et délimiter certains événements de manière spatio-temporelle.

Il s'agit de récolter des informations descriptives sur l'état du système, du procédé, des actions réalisées, de la perception par les acteurs des situations, de leurs analyses, de leurs décisions.

Le croisement de plusieurs témoignages permet de réduire les incertitudes relatives à des faits décrits par un seul acteur. Des entretiens de groupe peuvent être utiles à cet effet.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche F relative à la conduite d'entretiens

3. INTERPRETER LES DONNEES ET ETABLIR LA CHRONOLOGIE

Le premier objectif va être de représenter dans des tableaux chronologiques ou sur une ligne de temps, l'occurrence des événements, leur nature (physique, chimique, informationnelle de type action, décision) et leur durée.

Pour des événements simples, comportant peu de ramifications, il arrive que ces outils classiques suffisent à représenter clairement une séquence accidentelle.

Cependant des événements, avec de multiples acteurs, décisions, transfert d'informations et actions qui se combinent dans l'occurrence d'événements intermédiaires de la séquence accidentelle, posent des problèmes d'analyse et de représentation.

Il existe des outils de second ordre permettant de structurer les données collectées. On pourra citer les méthodes Events and Causal Factors Analysis (Clark and Buys, 1995) et Sequential Timed Events Plotting (Hendrick and Benner, 1987).

A titre d'exemple, l'une d'entre-elle, l'ECFA, a été utilisée pour l'enquête sur l'accident de Billy-Berclau en 2003 (www.ineris.fr).

La méthode ECFA a pour objectif de réduire une collecte d'événements et de circonstances, en un agencement ordonné en utilisant la dimension temporelle chronologique et les relations causes-effets entre événements potentiellement successifs. Elle permet ainsi d'évaluer la relation cause-effet entre événements avec une grille temporelle.

Un objectif sous-jacent est d'organiser, au sein d'une équipe d'investigation, un partage explicite sur les faits, mais aussi de structurer la recherche des informations concernant les chaînons manquants.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche G relative à la représentation et l'analyse de la chronologie à l'aide de l'ECFA

Recherche des causes directes (technologiques)

1. DONNEES

La recherche des causes directes a pour objet, **dans un premier temps, de définir ce qui s'est passé.**

Dans un second temps, la recherche des causes de l'accident doit permettre **d'identifier des mesures correctives** visant à éliminer ou prévenir l'occurrence de ces événements (initiateurs et intermédiaires). Ces mesures correctives pourront aussi prendre la forme de barrières de sécurité et de contrôles.

Notons que dans l'étape de l'analyse des barrières et des contrôles (fiche n°4), la question sera posée différemment en ce sens où l'objectif sera d'analyser le (dys-) fonctionnement ou l'absence de barrières ayant permis à la séquence accidentelle de se dérouler. Ce mode d'analyse identifiera des mesures complémentaires de prévention.

Les causes directes sont composées de causes de nature technologique et de nature humaine (action humaine, décision, voire erreur humaine). Pour les besoins d'organisation du mémento, ne sont traités dans cette fiche que les causes directes de nature technologique. Les autres causes directes, de type erreurs humaines, nécessitent un traitement différent et seront abordés dans la fiche n°4.

Ainsi, dans une visions mécaniste (cause-effet) faisant appel aux connaissances disciplinaires des sciences dures et de l'ingénierie (chimie, physique, mécanique, électricité,...), il s'agit d'identifier les événements initiateurs et intermédiaires au niveau des produits, des procédés, des stockages ayant déclenché les phénomènes observés selon les informations collectées (dans le cadre de l'analyses des dommages, de la chronologie, de la recherche des causes techniques).

Pour cela une démarche à rebours (des effets aux causes), déductive, est souvent privilégiée (notamment avec l'outil support qu'est l'arbre des causes). **La nature du phénomène dangereux supposé s'être produit est ainsi l'une des premières choses à caractériser et l'un des points de départ de l'investigation.**

A la suite de quoi, la nature du (ou des) phénomène(s) supposé(s) s'être produit servira ensuite de guide aux questionnements et à la recherche des conditions nécessaires et suffisantes à l'occurrence du (ou des) phénomène(s) considéré(s) (par exemple, les conditions à réunir pour un incendie ou une explosion : le triangle du feu, l'hexagone d'explosion de poussières, etc...). Ces questionnements seront donc directement dépendants des modèles des phénomènes disponibles et utilisés.

Lors de la phase de recherche des causes, il sera souvent nécessaire de pouvoir trancher entre plusieurs phénomènes (ex : explosion physique, de poussières, de gaz, de solide).

Cette démarche à rebours pourra s'appuyer sur des approches énergétiques en particulier pour les explosions, les emballements de réactions, les incendies. Ces dernières permettront d'évaluer la plausibilité des liens de cause à effet. Elle s'appuiera sur l'état des énergies potentielles dans le système avant accident.

L'un des enjeux est souvent d'identifier des événements intermédiaires entre les phénomènes observés et les causes initiales, comme l'origine de la perte de confinement (d'ATEX, de combustible ou de toxiques), le système explosif initial, l'explosion primaire, la propagation de l'explosion ou de l'incendie...

Les autres enjeux sont souvent de déterminer les sources d'inflammations (parmi 13), la présence de comburant, les causes d'une rupture de confinement, les produits présents et formés, les conditions de stockage ou paramètres de fonctionnement du procédé, c'est à dire l'état du système technique...

Cette recherche des causes décrites précédemment est ainsi essentiellement orientée vers les causes du phénomène dangereux.

Elle sera à compléter, en particulier pour les accidents ou les accidents majeurs, à la suite d'exposition de cibles (humaines, environnementales, matérielles) par une analyse de l'effet du ou des phénomènes dangereux sur ces cibles. Il s'agira de prolonger dans la logique mécaniste (relation cause-effet) la recherche des causes qui ont produit l'effet observé (qualifié et quantifié) sur les cibles.

La caractérisation ou quantification de l'effet rejoindra des actions réalisées dans le cadre de l'étape n°1 de l'investigation relatif à l'évaluation des dommages et effets.

Là aussi la recherche des causes de l'exposition des cibles et de l'inadéquation des protections des cibles pour ce phénomène dangereux renverra aux fiches n°4 (analyse des barrières et contrôles) et n°6 (analyse des causes profondes) de l'investigation. Des thématiques comme la maîtrise de l'urbanisation ou la gestion des secours ne seront de fait traitées que dans ces étapes.

2. COLLECTER LES DONNEES RELATIVES A LA RECHERCHE DES CAUSES DIRECTES

Cette phase de collecte vise à identifier des éléments relatifs aux conditions nécessaires pour déclencher les événements intermédiaires et phénomènes dangereux observés.

2.1 QUELQUES QUESTIONS CLES

L'un des enjeux est d'identifier les procédés, les stockages, les équipements, les matériaux qui auraient pu être impliqués dans l'occurrence du (ou des) phénomène(s).

Quelques exemples de questions simples peuvent aider à guider l'enquête, à identifier des objets, échantillons clés, potentiellement utiles pour l'investigation :

- Quelle était l'opération en cours (parfois plusieurs dans un atelier touché par un incendie généralisé par exemple) ?
- Faisait-elle l'objet d'une procédure ?
- L'objet, la substance peut-elle avoir été une cause de l'accident ou un effet ?
- Quels sont les potentiels d'énergie présents dans le procédé ?

- Le procédé, indique-t-il des traces de transfert d'énergie (déformation, brûlure, corrosion,...) ? Quel est le sens de propagation ?
- L'équipement, la substance a-t-il été déplacé ?
- Est-ce un composant/équipement critique du système ?
- Quelles sont les positions des vannes ou état des circuits électriques ?
- Est-ce que cet équipement indique une insuffisance de l'entretien, la maintenance, l'inspection des installations (ex. corrosion,...) ?
- Est-ce que cet équipement a déjà été la cause de problèmes/incidents ?
- Est-ce un produit qui doit être transporté, manipulé d'une manière spécifique ?
- Est-ce que cet équipement a pu générer une source d'inflammation ?

2.2 PRENDRE DES PHOTOS

Dans cette étape, les prises de photos seront orientées vers la description de l'état du système (état d'une canalisation, d'un réacteur, position d'une vanne, état d'un circuit électrique, vue d'un atelier, etc...), les informations relatives aux produits impliqués (vue d'un produit, information sur les emballages), aux matériaux impliqués (emballage, stockage, procédé).

Une attention particulière sera portée à l'identification a posteriori de l'attribution et la localisation de la photo pour des besoins de traçabilité et d'exploitation des données.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à la prise de photos

2.3 PRENDRE DES ECHANTILLONS

Dans cette étape, les prises d'échantillons seront orientées vers la collecte de produits (réactifs, réactants) de dépôts, de traces de combustion, de corrosion, mais aussi de matériaux, de câbles électriques, de déformations, et de ruptures de confinement.

Une attention particulière sera portée au matériel de collecte et conditionnement des échantillons.

L'une des difficultés est souvent de savoir ce que l'on cherche comme information et comme caractéristiques lorsque l'on réalise un prélèvement ou échantillonnage. Cette information ou caractéristique sera fournie ultérieurement par des analyses ou les essais adéquats à connaître a priori si possible. Auquel cas, l'investigateur saura ainsi ce qu'il doit prélever ou échantillonner. Néanmoins, les éléments cités ci-avant constituent déjà une bonne base de travail par défaut.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à la prise d'échantillons

2.4 COLLECTER LES ENREGISTREMENTS

Dans cette étape, l'objectif est de récupérer les informations sur l'état du procédé ou des stockages via les enregistrements de données sous forme papier ou électronique ayant pour origine les automates de procédé et sécurité, les cahiers de consignations, des enregistrements audio ou vidéo.

Ces éléments électroniques ont parfois une durée de vie limitée.

2.5 COLLECTER DES DOCUMENTS

Dans cette étape, l'objectif est de collecter la documentation relative aux informations sur l'exploitation du procédé, sa conception et sa fabrication.

Des informations comme les paramètres d'exploitation seront recherchées à défaut ou en complément des enregistrements et témoignages.

De même, des informations relatives aux dimensions des procédés, des stockages seront collectées en fonction des besoins de l'enquête.

L'objectif est de caractériser l'état normal du fonctionnement du procédé et d'en détecter les possibles états dégradés en particulier en s'appuyant sur les analyses des risques, analyse des changements, audits, rapports de maintenance et rapports d'incidents.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche E relative aux sources de données et de faits et à la fiche J d'analyse des changements

2.6 REALISER ET CONDUIRE DES ENTRETIENS

Dans cette étape, l'objectif est de collecter les témoignages à chaud et à froid sur les derniers événements et informations relatives à l'état du système.

Ces informations auront un lien direct avec la chronologie. Les témoignages relatifs à des actions sur le procédé, ou d'autres événements de type cause-effet seront recherchés.

Des informations complémentaires relatives à l'état des pratiques et l'état du système en fonctionnement normal et dégradé au regard des expériences passées seront également recherchées lors des entretiens. Auquel cas des changements par rapport à l'état attendu de fonctionnement normal du système seront relevés.

La posture de l'interviewer sera un enjeu critique. L'Inspecteur des IC devra éviter une posture accusatrice ou de recherche de culpabilité s'il veut permettre un échange d'informations.

Les questions ouvertes seront privilégiées au démarrage de l'enquête. En fin d'enquête les questions fermées seront plutôt privilégiées.

La connaissance des risques d'influence de l'interviewer sur l'interviewé développés dans les sciences humaines seraient un plus.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche F relative à la conduite d'entretiens et à la fiche J d'analyse des changements

2.7 IDENTIFIER LES POTENTIELS D'ENERGIE

L'un des enjeux préalable est d'identifier dans les stockages, les procédés, les machines, les diverses formes d'énergie présentes (mécanique, thermique, chimique,...).

L'accident est provoqué par une libération incontrôlée d'un potentiel d'énergie (physique, chimique,...) impactant des cibles. Le questionnement relatif aux contrôles de cette énergie potentielle et aux barrières de sécurité, n'ayant pu empêcher le déroulement de la séquence accidentelle est traité dans la fiche n°4.

Ainsi, ici pour la recherche des causes, l'objectif in fine sera donc de relier le phénomène dangereux observé ou déduit avec la libération du ou des énergies potentielles initiales.

2.8 RECHERCHER LES SOURCES D'INFLAMMATIONS

L'un des enjeux principaux est pour les phénomènes d'explosions et les incendies de déterminer les sources d'inflammations (parmi les 13 possibles) associées avec une présence de comburant à proximité...

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à la recherche des sources d'inflammation.

2.9 DECRIRE LE SYSTEME, L'ACTIVITE, LES CHANGEMENTS

L'objectif de cette étape est de décrire le système technique, l'activité réalisée. Cette étape intervient à la suite des précédentes, de manière itérative en fonction de la collecte des données.

L'objectif est ici de décrire le système lors du déroulement des événements, en état normal et en fonctionnement dégradé.

Une description des changements observés, décrits par rapports aux attendus sera réalisée. Une collecte spécifique sera réalisée sur la base des documents de type procédure et mode opératoire, enregistrements et entretiens.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche J d'analyse des changements

3. INTERPRETER, ANALYSER LES DONNEES POUR LA RECHERCHE DES CAUSES DIRECTES

3.1 ANALYSER LES DONNEES COLLECTEES / ETABLIR DES FAITS DEDUITS

Parfois les données collectées pour la recherche des causes suffisent à elles-mêmes pour constituer un fait directement interprétable et disponible pour la recherche des causes et l'argumentation à venir lors de l'évaluation de la plausibilité des hypothèses.

Souvent, les données collectées pour la recherche des causes ne sont pas directement interprétables et nécessitent un traitement (analyse chimique, métallurgique) ou une interprétation de premier niveau pour constituer des faits déduits qui seront directement utilisables dans l'identification et l'évaluation des scénarios d'accident envisagés.

3.1.1 FAIRE ANALYSER ET INTERPRETER LES PRELEVEMENTS, ECHANTILLONS ET SYNTHETISER LES RESULTATS

En effet, les prélèvements et échantillons nécessitent des analyses par des laboratoires spécialisés.

L'un des enjeux est souvent de savoir ce que l'on cherche comme informations et comme caractéristiques en lien avec des phénomènes ou propriétés des produits lorsque l'on réalise un prélèvement ou échantillonnage afin de sélectionner les analyses ou les essais adéquats.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche (à développer) relative à la réalisation d'analyse et d'essais

La phase de lancement des analyses physico-chimiques, métallurgiques sera un point critique au regard de la sélection des laboratoires d'analyses compétents et réactifs au regard de l'enjeu de préservation des échantillons dans le temps ou des preuves non-péreennes in situ.

Ces différentes analyses, une fois les résultats connus, devront être synthétisées sous une forme exploitable pour constituer des faits déduits (ex. des concentrations d'éléments chimiques dans le réactif mis en cause et différentes des normes habituelles ; une tendance à l'auto-échauffement du produit avec des caractéristiques comme une température critique ou une taille critique à mettre en perspective du procédé ou stockage ; une énergie minimale d'inflammation à comparer aux sources d'inflammations potentiellement présentes).

Il est à noter que la recherche des caractéristiques des produits (réactifs, réactants) de dépôts, de traces de combustion, de corrosion, par des analyses ou des essais est une source de connaissance importante, parfois négligée.

Elle peut en effet amener des surprises ou incohérences (potentielles parfois) auxquelles les investigateurs ne s'attendaient pas ce qui doit les obliger à les prendre en considération jusqu'à la remise en cause des hypothèses qui avaient été établies au préalable.

3.1.2 ETABLIR DES FAITS ET FAITS DEDUITS AU REGARD DES ETAPES PRECEDENTES

L'objectif de cette étape est d'intégrer des résultats obtenus lors de l'évaluation des dommages, de la chronologie ou de la collecte des données (documentaire, enregistrements, témoignages) pour la recherche des causes.

Certains constituent déjà des faits qui seront interprétables directement, d'autres nécessiteront des analyses complémentaires afin d'être utilisés pour la formulation des hypothèses des scénarios les plus probables et l'évaluation de leur plausibilité.

En effet, certains éléments collectés et interprétés dans le cadre de ces étapes (présentées dans ce guide de manière indépendantes alors qu'elles sont en interaction) doivent être combinés et traités pour constituer des faits déduits (ou conclusions partielles) interprétables dans le cadre de la recherche des causes.

Par exemple, une analyse des dommages d'une explosion aura conduit à estimer une masse d'équivalent TNT. Cette énergie d'explosion sera reliée à son tour au système explosif mis en cause (masse d'explosif solide stocké, résistance d'un bâtiment, masse de gaz explosible). Ces données auront été obtenues dans les 3 phases clés de l'investigation (chronologie, relevé des dommages, recherche des causes directes).

L'établissement de faits déduits pour la recherche des causes sera poursuivie avec l'analyse de l'état du système, de changements remarquables, de la chronologie (masse de produit présente, durée de fuite) ainsi que des témoignages sur certains événements intermédiaires de la séquence accidentelle (de type observation comme un bruit de rupture d'équipement, ou des actions ...).

Les relations causes-effets identifiées dans l'établissement de la chronologie seront évaluées au regard d'autres critères en particulier quand les incertitudes seront nombreuses.

3.2 GENERER DES HYPOTHESES ET IDENTIFIER LE(S) SCENARIO(S) LE(S) PLUS PROBABLE(S), LES « CAUSES DIRECTES »

L'objectif de cette étape est de générer des hypothèses quand à l'occurrence des phénomènes et à leurs conditions nécessaires et suffisantes.

Cette étape s'appuiera sur l'identification du ou des phénomènes mis en cause dans l'accident afin de caractériser le terme source.

A partir de cet événement dans la séquence accidentelle (qui va jusqu'aux effets sur les cibles), l'enjeu est de générer des hypothèses.

Il s'agit dans un premier temps d'être créatif, de réfléchir tout haut et d'émettre des hypothèses et des pistes à explorer.

Dans un second temps, la rigueur scientifique d'analyse reprendra notamment avec le chapitre relatif à l'évaluation des hypothèses en vue de l'identification du scénario le plus probable.

L'un des outils les plus classiques pour supporter la génération d'hypothèses est l'arbre des causes. Il est bien adapté à la recherche des causes directes et technologiques.

Par exemple à ce stade, l'arbre des causes pourra intégrer plusieurs phénomènes d'explosion (gaz, poussières, solides, mécanique) causes potentielles des effets observés. De même, à ce stade, plusieurs sources d'inflammations parmi les 13 possibles peuvent être considérées.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche H relative à la réalisation d'arbre des causes

Remarque :

Cette étape qui n'est présentée qu'à ce stade dans ce mémento, peut et devrait être réalisée au début de l'investigation. Elle devrait être réalisée aussi rapidement que la chronologie car leurs interactions sont nombreuses.

En effet, pour les phases de recherche des causes et d'établissement de la chronologie, l'un des objectifs sera de structurer ce que l'on a collecté et interprété et structurer ce que l'on recherche ou ne sait pas encore. En particulier, que ce soit dans la chronologie ou dans la recherche des causes directes et technologiques, l'évaluation des relations causes-effets entre événements se succédant dans le temps est un enjeu clé de l'investigation.

Enfin, comme pour la chronologie, l'utilisation d'outils graphiques comme l'arbre des causes facilitera la communication au sein de l'équipe en charge de l'investigation ou de son évaluation (ex. arbre des causes distinct de celui de l'industriel).

En effet, les hypothèses émises à ce stade de la réflexion au démarrage des investigations, doivent être considérées a priori avec la même rigueur. Elles nécessitent toutes en théorie, une recherche de faits les infirmant ou confirmant. Cependant, en pratique, en fonction des ressources disponibles (temps, compétences, coûts), des impasses sont parfois réalisées et acceptables si elles sont justifiables au regard de la plausibilité des scénarios avancés.

Pour cette étape de genèse des hypothèses, d'autres approches et outils peuvent être utilisés de manière complémentaire.

Par exemple, l'utilisation d'approche d'analyse du changement, de recherche des déviations par rapport à une norme, des attendus, permettra d'émettre des hypothèses. Ces hypothèses relatives aux changements ou déviations seront utilisées pour préparer la recherche et l'analyse des barrières et contrôles ainsi que des causes profondes.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche J relative à l'analyse des changements

3.3 ÉVALUER LA PLAUSIBILITE DES CAUSES ET SCENARIOS AU REGARD DES FAITS ET FAITS DEDUITS

L'objectif est ici d'évaluer les hypothèses relatives aux scénarios d'accidents élaborées dans les étapes précédentes au regard des faits et des faits déduits.

Ainsi des événements, puis, des scénarios se verront alors attribuer des probabilités variables.

Des calculs complémentaires ou des analyses chimiques ou métallurgiques additionnelles, ainsi que de nouveaux essais de caractérisations physico-chimiques pourront être envisagés à ce stade pour départager des scénarios.

De plus, des reconstitutions partielles ou totales de certains scénarios de manière expérimentale, à des échelles réduites, à l'aide de maquettes pourront être envisagées à ce stade.

De même, des modélisations à l'aide de codes de calculs, permettent de tester et comparer des hypothèses entre-elles ou de tester la validité d'une hypothèse au regard des faits et de sa modélisation.

3.4 CONCLURE SUR LE SCENARIO LE PLUS PLAUSIBLE

L'enjeu de cette étape est de proposer le scénario le plus probable qui est une forme de conclusion partielle des investigations.

Il s'agit souvent du scénario qui est reporté dans le rapport.

Il se peut que plusieurs scénarios restent plausibles avec des probabilités variables mais pour lesquelles en l'état des investigations, il était prématuré de trancher.

Les causes directes et le scénario le plus probable seront une base de travail déterminante pour ancrer les investigations relatives aux barrières et contrôles dédiées spécifiquement au scénario identifié ainsi que pour la recherche des causes profondes.

Mesures de limitation des risques : Barrières techniques et humaines dans l'investigation après accident

A retenir : il convient de retenir que la défaillance d'une barrière technique et/ ou une erreur humaine ne doivent pas être considérées comme le point final de l'investigation mais comme un point de départ de nombreux questionnements qui débutent ci-après.

Le but de cette fiche est de sensibiliser à l'identification ainsi qu'à l'analyse à posteriori¹, du fonctionnement des mesures de limitation des risques en particulier des barrières de prévention, mitigation, protection et intervention. Cette fiche est illustrée par un exemple simple (en fiche pratique). A partir du scénario le plus probable et de l'identification des barrières (en prenant par exemple appui sur la représentation graphique de type « nœud papillon »), il s'agit de poser quelques principes, en particulier sur les barrières humaines. Nous proposons en effet de focaliser sur ces barrières parce qu'elles posent le plus de problème aux ingénieurs qui ont des connaissances appropriées pour traiter des barrières techniques.

1. QUELQUES DEFINITIONS SUCCINCTES (A PARTIR DE L'OMEGA 20 DE L'INERIS)

Les barrières peuvent être soit:

Barrière technique de sécurité (BTS) : Ensemble d'éléments techniques nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On les appelle aussi des Mesures de Maîtrise des Risques (MMR). Exemple : enclenchement automatique d'une vanne sur détection de pression haute.

Barrière humaine de sécurité : Les barrières humaines de sécurité sont constituées d'une activité humaine (une ou plusieurs opérations) qui s'oppose à l'enchaînement d'événements susceptibles d'aboutir à un accident. Exemple : opération de contrôle de l'étanchéité d'un circuit conditionnant la mise en service du circuit, action de fermeture manuelle d'une vanne suite à la détection visuelle d'une augmentation anormale de la pression d'un réacteur.

Système à Action Manuelle de Sécurité : lorsque la barrière est composée d'éléments techniques de sécurité entrant dans une chaîne de sécurité. Exemple: action de mise en sécurité de l'installation par actionnement d'un bouton d'arrêt d'urgence suite à une détection de fuite de gaz au cours d'une ronde de surveillance.

¹ L'approche a posteriori peut être complétée par des approches a priori comme proposées dans les rapports OMEGA 10 et 20 de l'INERIS.

2. DONNEES ET COLLECTE CONCERNANT LES BARRIERES TECHNIQUES ET HUMAINES

2.1 DONNEES

Les données nécessaires pour cette étape concernent les équipements et dispositifs de sécurité ainsi que les pratiques des opérateurs. Elles sont fournies par la description des installations et par la description des activités des opérateurs.

2.2 COLLECTE

Ces descriptions sont normalement disponibles dans la documentation en fonction des entreprises (analyse de risques, description des procédés, manuel sécurité et modes opératoires). Ces descriptions peuvent être complétées par les entretiens réalisés auprès des opérateurs, techniciens, ingénieurs et managers. Les entretiens sont particulièrement importants pour la description des barrières humaines de sécurité. Ils le sont aussi pour les barrières techniques, mais le caractère plus sensible des barrières humaines implique d'autres précautions.

Dans le domaine des barrières humaines, il est très important de pouvoir croiser les informations et les points de vue afin de comprendre le contexte. Ainsi les ingénieurs et managers fournissent des indications importantes sur les contraintes de travail et les objectifs de production, ainsi que la gestion des équipes et des individus. De leur côté les opérateurs et techniciens fournissent des informations pour la compréhension des situations réelles de travail, incluant les contraintes techniques liées notamment à la conception et l'exploitation des installations, mais des informations aussi sur les conditions de travail vécues (comme l'organisation et la vie au sein des équipes etc). Sans ces deux types de points de vue, il est difficile d'obtenir une vision globale des conditions d'exécution des barrières humaines (et mixtes).

Toutes ces données sont des informations qui sont récoltées avant ou après l'établissement de la chronologie, en fonction du temps disponible et du temps d'accès aux données.

3. MODELES

3.1 ENTRE BARRIERES TECHNIQUES ET BARRIERES HUMAINES.

Les modèles et connaissances qui servent de support à l'interprétation sont différents étant donné les deux principaux types de barrières :

- **Les modèles et connaissances des sciences pour l'ingénieur pour les barrières techniques,**
- **les modèles et connaissances des facteurs humains pour les barrières humaines.**

Les modèles des barrières techniques sont souvent plus faciles d'accès pour les investigateurs que ceux des facteurs humains, étant donné leurs compétences plus techniques. En effet ces modèles impliquent de connaître les principes de fonctionnement des équipements et de faire l'hypothèse de ce qui n'a pas marché afin d'en conclure sur les causes de défaillances. Ils impliquent une connaissance en ingénierie des dispositifs de sécurité, ce qui fait bien souvent partie de la culture de l'ingénieur ou du technicien. Prenons l'exemple d'un capteur gaz. Il est possible de poser des hypothèses à partir de la connaissance des principes de fonctionnement du système de détection gaz (bien entendu, cela est simple seulement si l'on connaît le principe de fonctionnement du capteur). En comparant ce qui est prévu dans les spécifications, en conception et dans le contexte d'exploitation (mais aussi d'installation), il est possible d'expliquer la défaillance sur la base de la connaissance de son fonctionnement.

Pour les barrières humaines, l'équivalent n'est pas disponible. En effet, on ne connaît pas la « conception » de l'homme aussi bien que les installations et les équipements que l'on utilise. Bien sûr, les modèles facteurs humains existent, ils sont par ailleurs assez élaborés². Sans une connaissance approfondie de ceux-ci, il est difficile d'interpréter les actions des individus. En effet, les individus ont une capacité d'adaptation et d'improvisation qui leur permet de faire face à de nombreuses situations imprévues. C'est par ailleurs là une dimension indispensable de l'exploitation des installations, que n'ont pas les dispositifs et équipements. Les dispositifs ne peuvent faire que ce qui est prévu en conception, notamment au travers des instructions de leur programme pour certains systèmes instrumentés de sécurité.

Pour les hommes, cette nature adaptative est une dimension intrinsèque et centrale.

Il en découle ainsi par exemple que la procédure n'est pas, par rapport à l'opérateur, l'équivalent d'un programme d'équipement (ce type d'analogie est pourtant souvent utilisée) pour deux raisons :

- il n'est pas possible de décrire complètement et parfaitement ce que font les opérateurs (il y a un niveau de détail qui n'est pas défini et l'écrit de ne peut pas intégrer toute la pratique, notamment un ensemble de savoir faire issus de l'expérience des opérateurs et de leur expertise),
- il n'est pas possible d'anticiper toutes les perturbations que rencontrent les opérateurs, et les procédures font souvent l'objet de stratégies d'adaptations pour pouvoir faire face aux aléas. Les procédures deviennent parfois obsolètes pour ces raisons, lorsque les aléas se maintiennent, et que ce qui était prévu au départ n'est pas du tout ce que la réalité est devenue.

Ainsi entre le dispositif (ou l'équipement) et l'individu, il y a beaucoup de différences.

Ce tableau reprend quelques unes de ces différences.

² Ces modèles dans le domaine des facteurs humains impliquent des notions comme l'architecture de la mémoire, de la cognition, la représentation des connaissances, les modes de contrôles etc. Ces dimensions ne peuvent être mobilisées sans connaissances approfondies.

	Humain	Equipement, dispositif
Fiabilité	Plus bas que les machines, mais grande capacité de récupération, En partie mesurable	Souvent haut, mesurable
Principe de fonctionnement	Non déterministe Procédure décrivant la pratique non exhaustive	Causalité, déterministe Programme précis décrivant la fonction de l'équipement
Conception	Difficile à formuler	Clair, souvent bien formulée
Disponibilité des modèles	Quelques uns, seulement descriptifs	Nombreux, descriptifs et prédictifs
Applications possibles	Nombreuses et variées	Peu et dans des limites fixées
Modes de défaillances	Possibilité de description mais non prédictible	Souvent prédictible (avec dégradation lente)
Capacité de réalisation	Variable (avec des hauts et des bas)	Constante, ou diminuant graduellement dans le temps

Le fait que les barrières humaines sont moins faciles à évaluer à cause de ces dimensions adaptatives est d'autant plus délicat que les notions de faute, de culpabilité et/ou de responsabilité sont très souvent introduites suite aux accidents. Les incidents et les accidents mettent en effet en jeu ce qu'il est souvent appelé l'« erreur humaine ».

Afin de sensibiliser et **d'éviter quelques pièges de « l'erreur humaine » dans l'interprétation des barrières humaines**, il est important de disposer de quelques éléments :

- Dans un premier temps, en guise de **modèle simplifié pour l'investigation** à partir des barrières technique et humaine, **la représentation en « tranche de gruyère » (mais aussi nœud papillon)** est proposée. Cette représentation permet de mettre en évidence qu'une seule erreur humaine, est rarement en cause dans la survenue d'un incident.
- Ensuite un certain nombre de **précautions** sont proposée en ce qui concerne **l'interprétation des barrières humaines (et les erreurs)**, permettant de tirer partie de ce que l'on connaît dans les facteurs humains et qu'il est très important d'avoir en tête lorsque l'on doit interpréter des actions d'individus. L'interprétation des barrières techniques, moins problématique, est laissée de côté pour cette fiche. L'interprétation des dysfonctionnements des barrières techniques découle assez facilement de leur identification, à partir de connaissances d'ingénierie (voir plus haut l'exemple du capteur).

3.2 LES TRANCHES DE GRUYERES (APPROCHE BARRIERE) ET LE NŒUD PAPILLON

Le modèle graphique dit tranches de gruyère (figure 1) permet de comprendre l'essentiel de l'approche barrière.

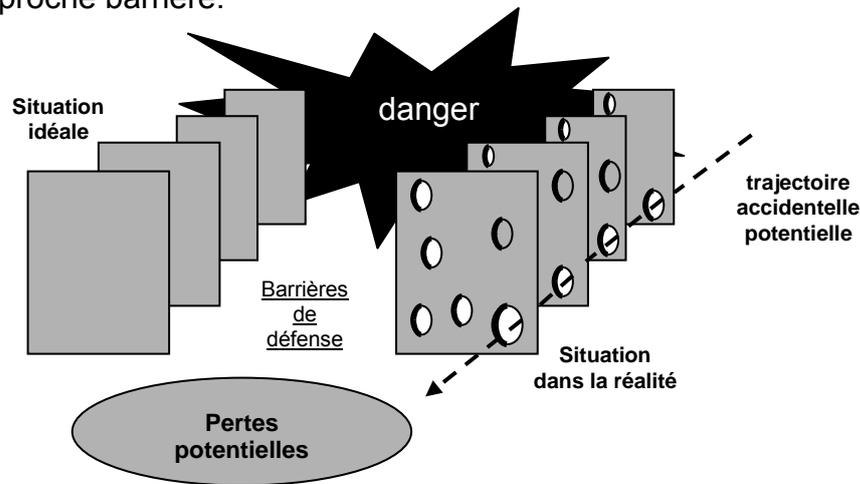


Figure 1 : les barrières de défense, la représentation « tranches de GRUYERE », James Reason, 1990

Selon ce modèle, un accident survient parce qu'un ensemble de barrières qui étaient conçues et mises en place n'ont pas fonctionné comme prévu. Les trous dans les tranches indiquent des inadéquations, et la possibilité d'une trajectoire accidentelle. Ainsi, d'un point de vue pragmatique, comprendre l'accident implique de décomposer les événements en les repositionnant parmi les différentes barrières. Cette représentation est utile pour le passage au nœud papillon. Son intérêt est surtout visuel, il est complémentaire du nœud papillon, mais ne s'y substitue pas.

Un exemple est disponible en fiche pratique n°K pour illustrer ce point de vue.

3.3 LES PRECAUTIONS A PRENDRE POUR LES BARRIERES HUMAINES – « L'HEXAGONE DES BIAIS »

Comme indiqué plus haut à propos des barrières humaines (et les « erreurs humaines »), un certain nombre de précautions sont à prendre par rapport à des biais typiques. En effet bien souvent, à partir des accidents, il apparaît que les individus n'ont pas forcément fait les choses qu'ils « auraient » pu faire. Cette interprétation doit être fortement relativisée.

Voici quelques précautions à suivre pour éviter le :

1. **Biais de l'illusion rétrospective ou du regard omniscient** : ne pas baser l'interprétation des actions des opérateurs sur des événements qui apparaissent uniquement après coup comme évidents. Il faut essayer de situer l'action des opérateurs dans leur contexte, c'est à dire dans une situation où ils ne disposent pas des informations dont les investigateurs disposent après l'incident, en particulier sur les circonstances des événements accidentels caractérisant la séquence accidentelle. La tendance naturelle est en effet d'accentuer ce que la personne aurait dû faire dans les circonstances qui sont connues après coup (ceci est pertinent par exemple dans des situations de stress, de pression temporelle importante ou de nuit).

2. **Biais de la procédure comme référence absolue** : ne pas se baser uniquement sur la description des procédures comme référence absolue, pour interpréter les actions des acteurs. Les procédures sont à voir comme des supports à l'action des opérateurs. Les procédures ne sont que des abstractions voire réduction d'une réalité pratique qui n'est jamais complètement contenu dans la description des activités. Les procédures dans la pratique sont parfois modifiées pour ces même raisons : écart entre le prescrit et le réel. L'exemple bien connu de ce principe est la grève du zèle, où le suivi strict des règles paralyse le fonctionnement d'une entreprise. Par ailleurs, il y a beaucoup d'aléas qui font que les actions décrites dans les procédures doivent être régulièrement adaptées à de nouvelles circonstances.
3. **Biais de la faute proportionnelle au dommage** : ne pas systématiquement associer la gravité du dommage à une équivalente gravité de l'action de l'opérateur entraînant la séquence, ce qui est un biais d'interprétation assez naturel. De la même manière, des récupérations peuvent être perçues comme des miracles car elles évitent de graves conséquences. En fait, les adaptations par rapport aux aléas sont des situations normales, elles sont parfois inadéquates et mènent à des incidents ou accidents.
4. **Biais de la culpabilité de l'erreur** : ne pas tomber dans le piège de la recherche du coupable. En effet, il est aisé de désigner coupable une personne qui n'a pas fait ce qui semble après coup comme une évidence. Dès lors que l'on sait ce qu'il était possible de faire, le fait de ne pas le faire rend la personne plutôt coupable, parce qu'elle n'a pas pris de bonne décision. De la même manière, ne pas se dire que si les choses avait été autrement, alors il ne se serait rien passé, donc celui qui a participé à l'action devient coupable. Enfin, ne pas baser son jugement sur l'idée que l'on est entièrement libre de ses choix, en masquant l'importance des contraintes qui ont amené le type de choix, le type de décision mis en évidence, ce qui amène au deux points suivants,
5. **Biais de la perte du contexte de travail** : ne pas rassembler les faits, les comportements des opérateurs comme des éléments isolés, indépendant et les étudier comme tels, mais toujours les replacer dans la dynamique des événements dans les situations de décisions en interaction avec le contexte de travail (équipements, interface, etc...).
6. **Biais de la perte du contexte d'équipe et organisationnel** : ne pas limiter l'interprétation des actions à un seul individu mais bien prendre en compte la dimension collective dans le cas d'équipes de travail et traiter les interactions entre les individus.

On peut représenter ces différents biais dans cette représentation (hexagone des biais, figure 2) :

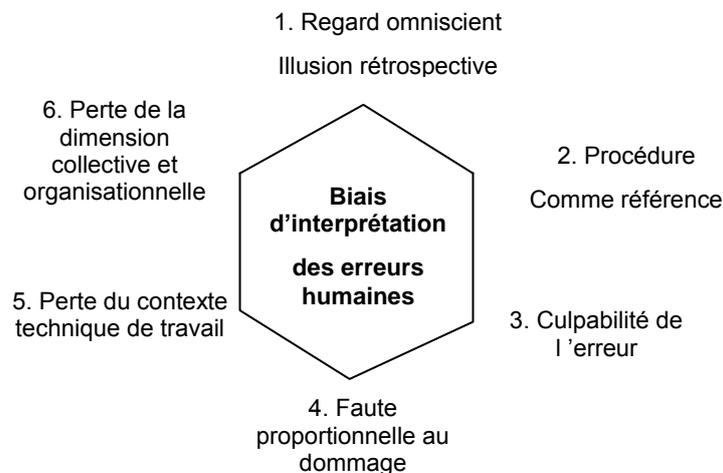


Figure 2 : l'hexagone des biais d'interprétation des erreurs humaines

Analyse des situations par rapport aux référentiels disponibles : normes, règles professionnelles, consignes, Système de Gestion de la Sécurité, réglementation,...

L'objectif est ici d'établir une base de référence pour l'activité et l'installation impliquée dans l'accident et de la comparer à la situation présumée avant l'accident et observée a posteriori par l'enquêteur.

1. RECENSEMENT DES DIFFERENTS REFERENTIELS ET ETABLISSEMENT D'UNE BASE DE REFERENCE

1.1 DONNEES

Il s'agit d'établir une base de référence : celle-ci émergera de plusieurs types de référentiels disponibles pour ce type d'activité et d'installation.

1.2 COLLECTE

Les référentiels, constituant les différentes dimensions de la base de référence et à collecter sont : normes, règles professionnelles, meilleures technologies disponibles, consignes, Système de Gestion de la sécurité, réglementation et Arrêté Préfectoral.

1.3 INTERPRETATION

En lien avec la séquence accidentelle, l'activité et l'installation, des extraits de ces référentiels sont tirés en vu d'établir une base de référence adaptée à cette activité et cette installation.

2. ANALYSE DES SITUATIONS PAR RAPPORT AUX REFERENTIELS

2.1 DONNEES

Il s'agit ici d'établir, dans les dimensions de la base de référence ou des référentiels, ce qui était en place sur l'installation et pratiqué dans l'activité. Il s'agit également de définir l'état des équipements en place, l'état des processus ou activités en place.

2.2 COLLECTE

Pour ce qui est des constats de l'enquêteur, les actions initiales avec la première visite seront déterminantes. Les photos in-situ supporteront les constats et témoignages. Cependant, la connaissance des référentiels adaptés à l'activité ou l'installation, permettra de guider la réalisation des constats selon l'expression consacrée « *on ne trouve que ce que l'on cherche* ». Pour ce qui est de la base de référence, la recherche des référentiels se poursuivra au cours de l'investigation.

2.3 INTERPRETATION

Il est possible de présenter cette analyse des situations par rapport aux référentiels en distinguant 2 grands cas de figure qui sont à repérer et vont solliciter des questionnements et modes d'analyses différents (en particulier dans l'étape 6 relative à l'analyse des causes profondes, des facteurs humains et de l'organisation) :

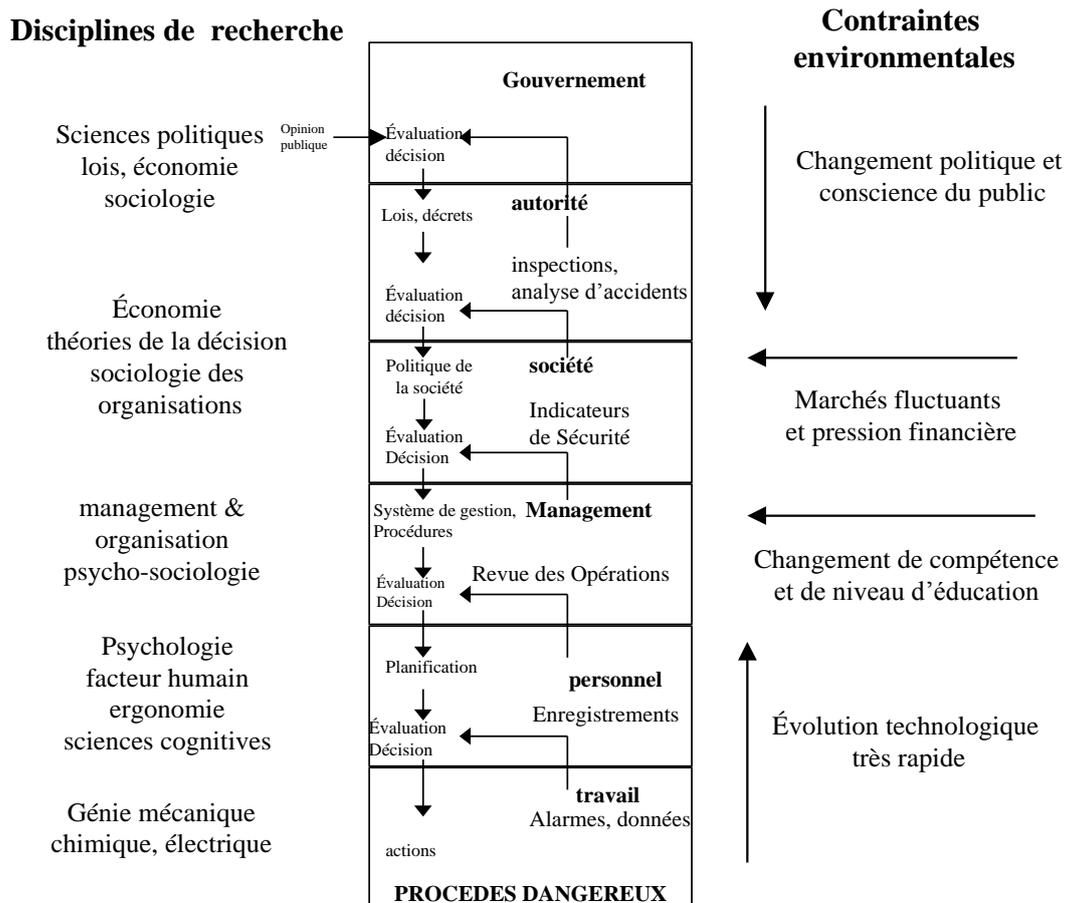
- Le premier cas de figure est celui où l'exploitant n'a pas eu connaissance d'un référentiel par ailleurs disponible. Auquel cas, les problématiques et questionnements à aborder dans l'étape 6, seront relatifs au processus d'analyse des risques, à la veille externe et réglementaire, au retour d'expérience externe, aux audits croisés, à la gestion documentaire, au processus d'achat d'équipement, au processus d'élaboration des procédures.
- Le second cas de figure est celui où l'exploitant avait connaissance d'un référentiel et celui-ci a été implémenté de manière inadéquate au regard de la perte de contrôle observée. Auquel cas les problématiques et questionnements à aborder dans l'étape 6, seront relatifs à la politique de prévention des accidents majeurs, aux ressources allouées au maintien de la performance des barrières et contrôles, au suivi des actions correctives dans le retour d'expérience et les audits internes, à l'élaboration de procédures, à la gestion des changements.

En cas de manquement aux exigences réglementaires, un procès-verbal pourra être établi et transmis au procureur.

Causes profondes et management de la sécurité

1. DEFINIR LES CAUSES PROFONDES ?

On parle parfois de **causes profondes** des accidents **par opposition aux causes directes** proches de la séquence accidentelle (défaillances techniques avec les « erreurs humaines » et les échecs des barrières de sécurité). Les causes profondes **sont des défaillances qui se situent en amont (dans le temps et l'organisation) à d'autres niveaux du système sociotechnique**. Ces multiples défaillances observées aux différents niveaux du système sociotechnique (ci-dessous) ont pu favoriser le développement de l'accident, influencer les conditions dans lesquels la l'incident voire la catastrophe s'est produite, et affaiblir les mesures de sécurité visant à prévenir le développement d'un tel événement. Les différentes **activités** réalisés par des **acteurs** à différents niveaux du système **sont inter-reliées et soumises à des contraintes environnementales**. Elles font appel à des disciplines différentes de la recherche scientifique pour les analyser.



SYSTÈME SOCIO-TECHNIQUE (RASMUSSEN 1997)

Figure 1 : le système sociotechnique (selon Rasmussen, 1997)

Le but de cette fiche est de sensibiliser aux dimensions du management de la sécurité ainsi que de l'organisation (ou encore les facteurs organisationnels et sociétaux) dans l'investigation des accidents.

Dans le découpage qui est proposé ci-après, management de la sécurité et facteurs organisationnels sont pourtant distingués. Ils sont distingués dans le but de délimiter les champs de compétence qu'ils impliquent.

2. FACTEURS ORGANISATIONNELS ET MANAGEMENT DE LA SECURITE : QUELQUES PRECISIONS

De la même manière que les facteurs humains disposent de modèles assez élaborés mais qui ne sont pas mobilisés pour les investigations faute de connaissances par les utilisateurs (voir fiche 4, note 3), **les facteurs organisationnels et sociétaux disposent également de modèles détaillés**. Des modèles tels que la « normalisation de la déviance », la « période d'incubation », et des thèmes comme ceux de la culture, du pouvoir, des pressions productives, de la rationalité limitée et de la prise de décision collective, de la construction sociale du risque etc, font partie des dimensions des facteurs organisationnels et sociétaux.

A titre exemplaire, pour mener son enquête, le Columbia Accident Investigation Board (CAIB) [13, p. 9] fait explicitement et systématiquement référence au caractère organisationnel et institutionnel de l'accident. Il souligne en particulier : « *Le CAIB reconnut rapidement que **l'accident n'était pas un événement anormal, aléatoire mais plus probablement enraciné** dans une certaine mesure **dans l'histoire** de la NASA et dans **la culture** du Programme des vols spatiaux habités. En conséquence, le CAIB a étendu son mandat dès le départ pour intégrer une enquête d'envergure sur les questions historiques et organisationnelles, incluant les considérations d'ordre politique et budgétaire, les compromis, les évolutions de priorités tout au long de la vie du Programme de la Navette Spatiale. La conviction du CAIB au sujet de l'importance de ces questions a cru au fur et à mesure de l'enquête avec comme conséquence que le rapport d'enquête dans ses résultats d'analyse, conclusions et recommandations attribue plus d'importance à ces facteurs contributeurs qu'à ceux plus facilement compréhensibles et corrigibles liés à la cause technique de l'accident.* ».

Pourtant comme pour les facteurs humains, il n'est pas prévu dans cette fiche de décrire ni de mobiliser ces modèles sur les facteurs organisationnels et sociétaux pour l'investigation. Ils nécessitent de faire appel à des spécialistes (cf disciplines de recherche mentionnées dans le système sociotechnique).

Par ailleurs, il n'est pas nécessaire de connaître ces modèles dans ce détail pour entrer dans la dimension du management de la sécurité.

Ainsi, dans le cadre de ce mémento et de cette fiche, il est distingué :

1. Le management de la sécurité
2. L'organisation, les facteurs organisationnels et sociétaux

Seul le management de la sécurité est développé dans cette fiche.

Le management de la sécurité concerne les pratiques sécurité, en relation avec la mise en place des systèmes de management. Ce terme recouvre la mise en place d'activités telles que les analyses de risques, la maintenance, le retour d'expérience, la gestion des modifications etc.

A titre d'exemple, la fiche pratique B illustre les défaillances observées aux différents niveaux du système sociotechnique.

L'accident de Billy-Berclau (www.ineris.fr) a été l'occasion de faire une telle analyse. Les facteurs organisationnels et sociétaux, le management de la sécurité/des risques, les facteurs humains, les barrières et contrôles, la séquence accidentelle ont été analysés avec l'articulation globale suivante :

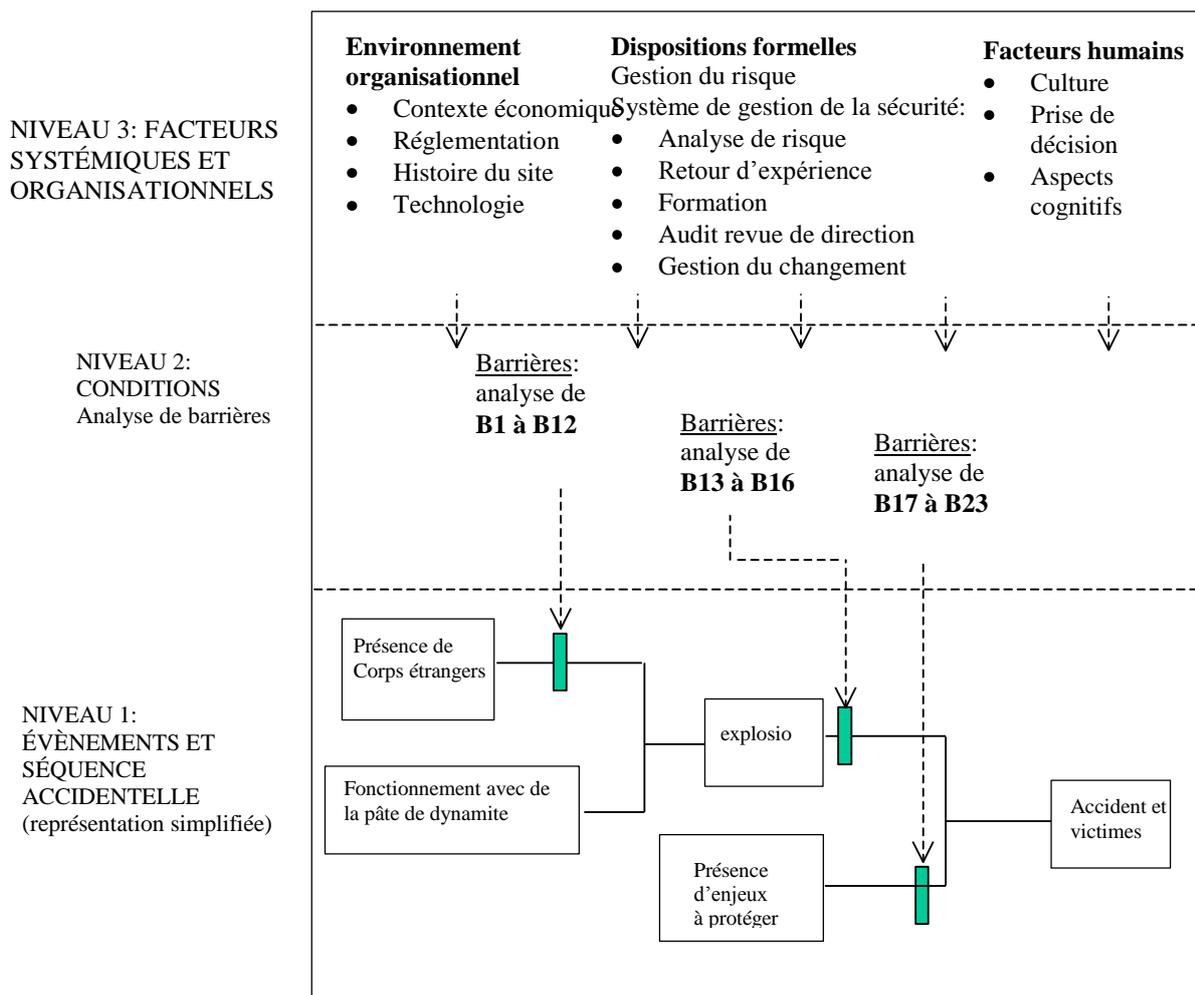


Figure 2 : Les 3 niveaux d'analyse

Le but de cette étape telle que proposée dans cette fiche est d'entrer de manière systématique et organisée dans les dimensions du management de la sécurité, en partant de l'identification et l'analyse des barrières (fiche 4). **L'accident s'interprète comme l'incapacité du système de management de la sécurité de fournir les ressources nécessaires au maintien des mesures de prévention, ou aussi à l'absence de ces mesures par rapport aux risques.** Cette démarche se rapproche d'un audit a posteriori, mais nécessite un ancrage spécifique sur les barrières techniques et humaines. Le modèle est détaillé ci-après.

3. DONNEES ET COLLECTE CONCERNANT LE MANAGEMENT DE LA SECURITE

3.1 DONNEES

Les données à collecter doivent permettre de comprendre comment le management de la sécurité est déployé dans l'entreprise et les raisons de sa défaillance.

Il est fortement conseillé pour entrer dans le management de la sécurité de partir de l'identification des barrières techniques et humaines de sécurité (voir fiche 4).

Les données concernant les scénarios, les barrières de sécurité et les « erreurs humaines », telles qu'extraites de l'étape précédente (fiche 4), sont les **points de départ de questionnement systématique** sur les conditions organisationnelles dans lesquelles sont réalisées les activités de prévention des risques et de management des mesures de sécurité. Assez rapidement se posent les questions de savoir : Comment étaient réalisées les activités de gestion formelle des risques (de type SGS : analyse de risques, maintenance, retour d'expérience, modes opératoires etc) ? Comment et pourquoi elles ont fragilisées les mesures de sécurité (activité inadéquate ou liens entre activités inadéquat, etc...) ?

3.2 COLLECTE

De même que pour les barrières, la collecte des informations pour le management de la sécurité **se réalise par l'intermédiaire des opérateurs impliqués** dans l'incident ou l'accident (mais éventuellement aussi leurs collègues) **et de l'encadrement** ainsi que des ingénieurs.

Etant donné qu'il s'agit de comprendre le management de la sécurité dans son ensemble, les responsables de services seront aussi à rencontrer, en fonction de la profondeur de l'enquête.

Les documents sont aussi indispensables pour avoir accès au fonctionnement du système de management de la sécurité. Les traces écrites de réunions, les traces d'analyse de risques, d'analyse du retour d'expérience, permettent de fournir des informations précieuses sur ce qui s'est passé au sein du système. La profondeur des informations varie en fonction des ressources consacrées.

4. MODELES POUR ANALYSER ET INTERPRETER

4.1 MODELE GENERAL

Il existe un certain nombre de modèles qui peuvent servir pour le questionnement sur le management de la sécurité. Les principes seront plus ou moins les mêmes dans ces modèles.

Une façon de procéder est de distinguer **deux dimensions (en lien avec le SGS) :**

- 1. Un niveau opérationnel.**
- 2. Un niveau système.**

Le premier niveau opérationnel permet de faire le lien avec le procédé et les barrières techniques et humaines. Ce niveau opérationnel articule les activités suivantes (on emprunte les items du SGS) :

1. Niveau opérationnel :
 - Maîtrise des procédés
 - Gestion des modifications
 - Organisation et personnel
 - Gestion des situations d'urgence

Le deuxième niveau permet de faire le lien avec les activités qui supportent et conditionnent fortement le premier niveau opérationnel.

2. Niveau système :
 - Politique sécurité
 - Analyse de risque
 - Audit
 - Retour d'expérience

Cette illustration regroupe les trois niveaux (barrières, opérationnel et système) :

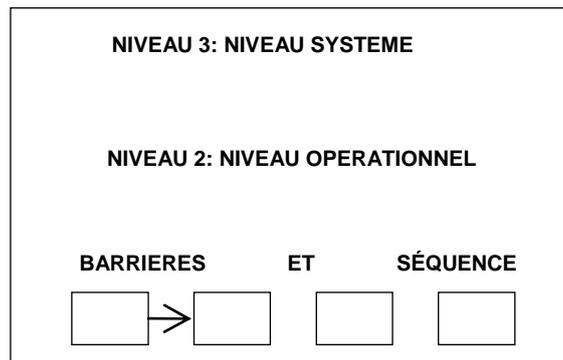


Figure 3 : Liens entre les niveaux barrières, opérationnels et systèmes

Le principe d'une investigation du management de la sécurité est de parcourir systématiquement les différents niveaux en sens inverse. Pour cela il faut préciser le contenu des différents niveaux.

4.2 MODELE DETAILLE

4.2.1 PRINCIPES

De manière plus détaillée, les activités organisationnelles de gestion des risques ont des effets (symbolisés ci-dessous par les flèches descendantes de la figure 3) indirects et directs sur la prévention du développement d'une séquence accidentelle.

Elles seront questionnées et analysées progressivement selon les besoins et découverte de l'investigation à partir de la connaissance de la séquence accidentelle et des barrières (présentes ou qui auraient pu être envisagées).

4.2.2 PRINCIPES DE BASE DE L'INVESTIGATION

Dans la pratique, il est possible de considérer ainsi trois niveaux d'investigation. Ces trois niveaux sont analysés une fois que la chronologie est faite, le scénario le plus probable identifié et que les barrières et contrôles associés sont identifiés.

Le premier correspond à caractériser la séquence accidentelle et la représenter à partir des barrières et contrôles, en montrant ce qui n'a pas fonctionné adéquatement ou ce qui était absent.

Le deuxième niveau consiste à prendre en compte les activités qui auraient du permettre aux barrières et contrôles de fonctionner (figure 3). C'est le niveau dit opérationnel mais aussi des « conditions » dans lesquelles se développe la séquence accidentelle.

Le troisième niveau consiste à prendre en compte les facteurs influençant ces conditions. La mise en place de la politique, les moyens et ressources associés, la conception des installations etc (figure 3), sont passés en revue, pour comprendre davantage en contextualisant ces conditions. Ce dernier niveau est dit, dans la terminologie du référentiel MORT, niveau des « facteurs systémique ».

Un exemple de référentiel détaillé sur l'investigation des activités formelles de gestion des risques, le référentiel MORT (Management Oversight Risk Tree), est présenté en fiche pratique L avec les questionnements types associés.

4.2.3 QUESTIONNEMENT TYPE

Les activités à ces niveaux peuvent être détaillées par thème d'analyse ou sous forme de questions types.

Chacune des questions permet de définir une partie de ce que l'activité est censée intégrer comme étape pour assurer son objectif.

Par exemple : *Quelles sont les principes à mettre en place pour les analyses de risques ? « l'utilisation de méthodes appropriées », « le travail de groupe avec les personnes clés »* sont des éléments reconnus importants pour les analyses de risque, par conséquent, ceux ci peuvent servir de point d'entrée pour l'élaboration de questions.

Il n'est pas prévu dans cette fiche de présenter de manière détaillée chacune des activités en fonction des bonnes pratiques associées et des questions qui peuvent en découler. Cela dépasserait l'objectif de la fiche relative aux principes de base. Cependant, **dans la fiche pratique L, des questions ou thèmes de questionnement (tirés du référentiel MORT) sont proposés et présentés par rubrique du SGS.**

Pour l'illustration du principe, l'activité d'organisation et personnel du SGS (correspondant au niveau « opérationnel » dans le modèle proposé) est déclinée sous forme de thèmes et de questions (tirées du référentiel de la méthode MORT).

Activité organisation et personnel (niveau opérationnel, tirée du référentiel MORT):

- **La formation**

La formation de la personne au poste de travail, définition des besoins de formation, la qualité de la formation (méthodes, contenu), la compétence des formateurs, la vérification des connaissances auprès des formés.

- **Le travail de la supervision**

Sur les déviations par rapport au travail prévu à savoir la définition de la variabilité autour de la tâche, la performance de l'opérateur par rapport à cette variabilité, la connaissance par la supervision des critères de déviations et sa connaissance sur la détection possible de problèmes (alcoolisme, problème personnel), l'observation par la supervision de variabilité dans la tâche, la correction par la supervision des déviations (conception des installations, contradictions dans les situations de travail, éventuellement mesures disciplinaires etc).

- **La motivation du personnel**

L'encadrement du personnel et la qualité du leadership (expression par la supervision de son intérêt pour le travail de l'opérateur, exemplarité de la supervision, présence de la supervision dans les ateliers), la pression de temps, est-ce le fait de ne pas faire selon les règles est plus favorable que de faire selon les règles, est-ce que la tâche importe à l'opérateur, les opérateurs au sein du groupe de travail (les conflits avec la supervision, avec les autres opérateurs, la psychologie de l'individu était elle acceptable par rapport à la tâche en question), la suffisance du travail sur la motivation du personnel.

- **La sélection du personnel**

La définition du poste, la capacité à sélectionner la personne par rapport aux critères du poste.

Un exemple commun à la fiche n°4 sur les barrières est fourni en fiche pratique L pour fournir une illustration concrète de la mise en application de ces questionnements pour investiguer les causes profondes de l'accident.

4.3 PRINCIPE CRITIQUE GENERAL DES ANALYSES D'ACCIDENT

Les analyses menées suite à des accidents majeurs :

- par exemple, par Lord Cullen (2000) pour la collision de deux trains dans la région de Paddington,
- par le Columbia Accident Investigation Board (CAIB) en 2003 sur la perte de la navette spatiale *Columbia*,
- par le U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) en 2007 pour l'explosion à la raffinerie BP de Texas City),

ont montré l'intérêt « d'aller au-delà » de la défaillance technique et de l'erreur humaine pour définir les causes profondes d'un événement.

Ainsi que l'exprimait la Commission d'enquête sur l'accident de la navette *Columbia* ([14] - p. 97) :

“De nombreuses enquêtes d'accidents ne vont pas assez loin. Elles identifient la cause technique de l'accident, et elles l'associent à une variante de « l'erreur opérateur » - l'opérateur qui a mal mis l'écrou, l'ingénieur qui a mal calculé les efforts, le manager qui a pris la mauvaise décision. [...] Lorsque les résolutions de la chaîne causale sont limitées à la faiblesse technique et à la défaillance de l'individu, typiquement les actions de prévention d'un événement similaire futur sont aussi limitées”. [...] La mise en oeuvre (des) mesures correctrices entraîne une autre erreur : la croyance que le problème est résolu¹”.

¹ C'est nous qui le soulignons.

Etablissement du rapport d'analyse et de synthèse

1. CONTEXTE DE REALISATION

En fonction de la position de l'IIC dans la gestion du post-accidentel, à savoir :

- analysant le rapport d'analyse d'accident de l'exploitant,
- établissant le rapport d'enquête après d'accident,
- sollicitant un expert, un laboratoire d'analyse,
- participant à une enquête technico-administrative.

A la suite d'une analyse des résultats des investigations d'un expert, d'un laboratoire d'analyses, de l'Industriel et des propositions d'améliorations techniques et organisationnelles de ce dernier, l'enquêteur se trouvera dans la position de consigner les ou des résultats des étapes de l'enquête dans un document ou rapport de synthèse pour les besoins de l'enquête technique et de l'action administrative.

2. CONTENU DES NOTES D'ETAPES ET/OU DU RAPPORT DE SYNTHESE

Au-delà du rapport final de synthèse, des notes d'étapes peuvent être attendues par des destinataires internes aux Autorités de contrôle, de la Justice et d'autres parties prenantes. L'enjeu peut être à la fois de consigner les faits et éléments de décision ainsi que de les communiquer en cours d'enquête ou à la suite d'une enquête.

Ces notes d'étapes pourront synthétiser par exemple :

- des éléments techniques connus au moment de leur rédaction,
- des hypothèses de travail ou les demandes d'investigations complémentaires,
- les mesures techniques exigées de l'Industriel,
- et les mesures administratives engagées.

Ces notes pourront être réalisées :

- à la suite de la visite initiale,
- lors des opérations de mise en sécurité du site,
- lors des points d'étapes avec les Industriels, les experts, les laboratoires d'analyses
- lors de l'analyse des rapports provisoires ou finaux de l'Industriel, de l'expert ou du laboratoire d'analyses

Une note de synthèse ou rapport final, au vu de l'analyse des améliorations techniques et organisationnelles prévues, peut s'avérer nécessaire pour se prononcer sur ces améliorations en fonction des missions de l'entité à laquelle l'enquêteur appartient.

Annexe B

Fiches pratiques

Qu'est-ce qu'un accident ? Qu'est-ce qu'un événement ? Quelques réflexions

Réflexions (tirées du Guide de l'ESReDA sur les enquête après accidents)

A RETENIR : un accident = somme ou combinaison de causes directes ou immédiates (défaillances techniques et/ou erreur humaine) ET de causes profondes (humaines, organisationnelles, sociétales)

Les analyses profondes d'accidents, incidents et de crises ont clairement montré que tout événement est généré par **des causes directes ou immédiates** (défaillances techniques et/ou erreur humaine). Cependant, leur occurrence et/ou leur développement est considéré comme induit, favorisé ou accéléré par **des conditions organisationnelles sous-jacentes** (facteurs complexes de type humains, organisationnels, sociétaux, culturels). Une vaste majorité des événements peut être vue comme **le point final d'un processus de dégradation de la sécurité**. Un événement est **très rarement une « combinaison inattendue de circonstances » ou un « acte de dieu »**. En effet, un accident arrive à la fin d'une période d'incubation (comme pour une maladie) pendant laquelle des événements, des signaux (faibles ou forts) surviennent et ne sont pas perçus et/ou traités de manière adéquate au regard de leur menace potentielle pour la sécurité.

Tout système industriel fait face à des facteurs qui impactent la sécurité positivement et négativement. La vie d'un système industriel, d'un point de vue de la sécurité peut être vue comme la tension continue entre des facteurs organisationnels de résilience (FOR) et des facteurs organisationnels pathogènes (FOP). Il est possible de considérer qu'un accident survient lorsque les FOPs dominent les FORs. La figure suivante représente comment les événements peuvent être vus (avec la métaphore médicale) comme des symptômes des conditions sous-jacentes.

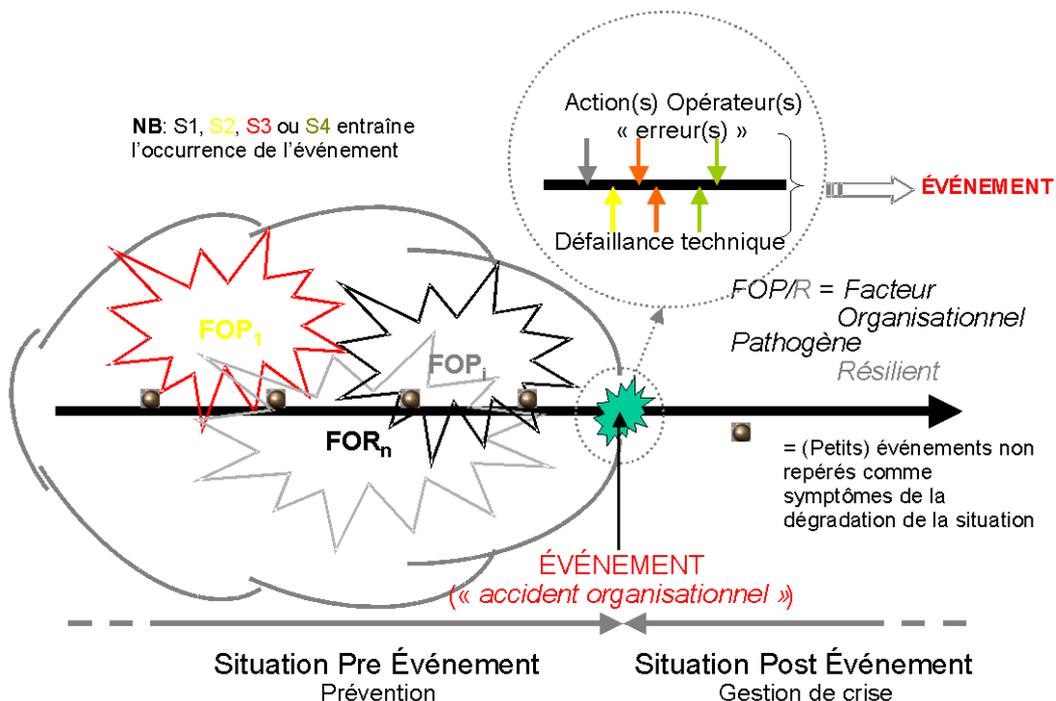


Figure 1 : Modèle d'accident, Y. Dien (2006).

Une investigation pourra être déclenchée par l’observation d’effets visibles (des presque accidents aux désastres).

Cependant, une analyse (un audit, un bilan) peut être **aussi déclenchée** à la suite d’un changement de vision ou croyance dans l’état de la sécurité ou de sa dynamique, par un expert du système et ce **en l’absence d’événement**.

Événements et accidents ont de nombreuses définitions (notamment réglementaires). De manière générale : un accident ou un événement est un risque qui s’est matérialisé. Ce qu’il est important de garder en mémoire est qu’ils sont caractérisés par de multiples paramètres (techniques, organisationnels, procéduriers, spatiaux, temporels,...).

De même, il faut remarquer qu’un événement est habituellement relié avec d’autres événements et constitue simplement un point de référence dans le temps où les symptômes des conditions sous-jacentes deviennent visibles. En d’autres termes, il s’agit du moment où l’on comprend que la sécurité était mauvaise (Turner, 1978).

Evolution historique, principaux concepts et theories

La connaissance de la sécurité a évolué progressivement sur le dernier siècle d’une approche orientée vers la technique à une approche introduisant peu à peu des dimensions humaines puis sociales dans la prévention des accidents.

Les accidents ne sont plus seulement le résultat de défaillances techniques mais aussi le résultat d’actions humaines, inscrites dans certains contextes. Dans la figure 2, des chercheurs ont suggéré en 1998 que notre compréhension et celle des chercheurs ont évolué progressivement pour prendre en compte de plus en plus de dimensions.

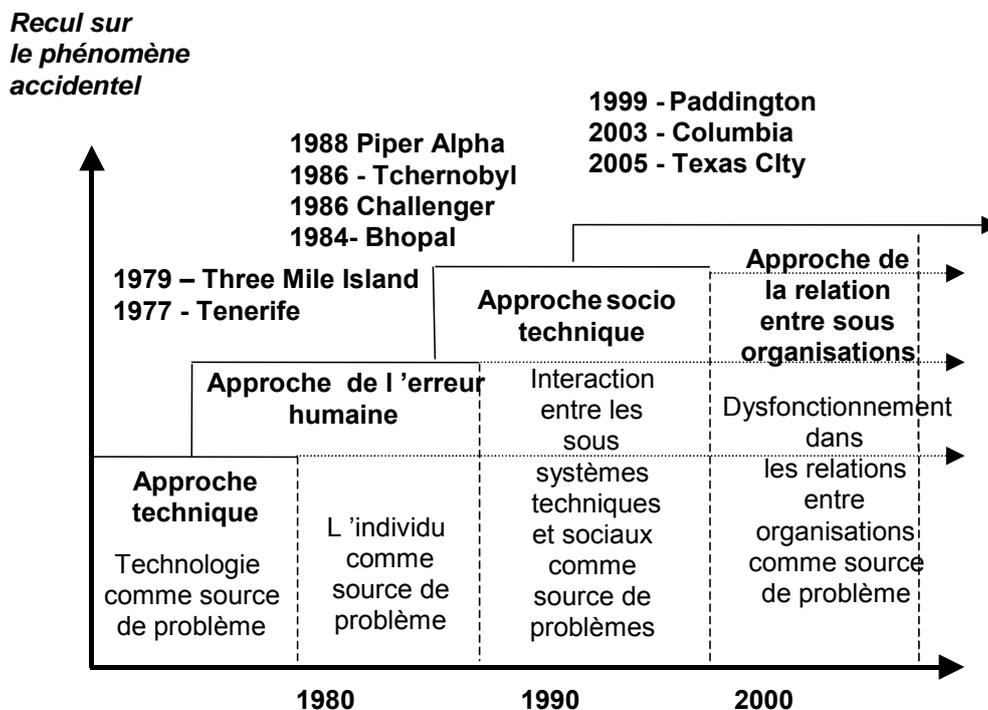


Figure 2 : évolution de la compréhension des causes des accidents (modifié d’après Wilpert et al, 1998)

Nous avons positionné sur l'axe temporel certains accidents majeurs qui ont apporté de nouvelles interrogations et compréhensions sur l'origine des accidents à la suite des travaux de commission d'enquêtes ou travaux spécifiques de chercheurs.

Ainsi les accidents de Tenerife (1977) et Three Mile Island (1979) ont mis en avant la dimension de l'erreur humaine (bien qu'en parallèle des dimensions organisationnelles soient mises en avant par d'autres chercheurs).

Avec les accidents de Bhopal (1984), de Tchernobyl (1986) et de Challenger (1986), le rôle de l'organisation dans la genèse des accidents est devenu plus évident.

Plus récemment, les collisions de train à Paddington (1999), la perte de la navette Columbia (2003) et l'explosion dans une raffinerie à Texas City (2005) ont illustré l'importance des contextes institutionnels et inter-organisationnels.

Toutes les dimensions précisées dans la figure 2 sont a priori importantes pour comprendre le comportement d'un système sociotechnique et devraient être prises en compte au cours de l'investigation si cela est nécessaire et possible.

Modèles généraux utiles à l'investigation

Il existe aujourd'hui de très nombreux modèles apportés par les différentes sciences (naturelles, de l'ingénieur, humaines et sociales) pour mieux comprendre la sécurité. Ces modèles sont utiles pour donner sens aux données et pour orienter les investigations vers les zones supposées de problèmes. Ceci peut bien entendu générer des biais d'interprétation (« *on ne trouve, que ce que l'on cherche* ») d'autant plus si ces modèles sont implicitement employés sous forme d'a priori ayant des origines multiples (culturelles, professionnelles, personnelles,...). Les modèles ne sont que des outils pour l'investigation, « *des serviteurs et non des maîtres* ».

Un des modèles structurant et éclairant les différentes dimensions à appréhender dans la genèse d'un accident est celui présenté en Figure 3. Les différents niveaux du **système sociotechnique** sont représentés et reliés. Les disciplines scientifiques pouvant éclairer ces différents phénomènes (techniques, humains, organisationnels, sociétaux) sont aussi représentées.

Une autre idée à retenir est la **nature différente des causalités entre les systèmes techniques et les systèmes humains et sociaux**.

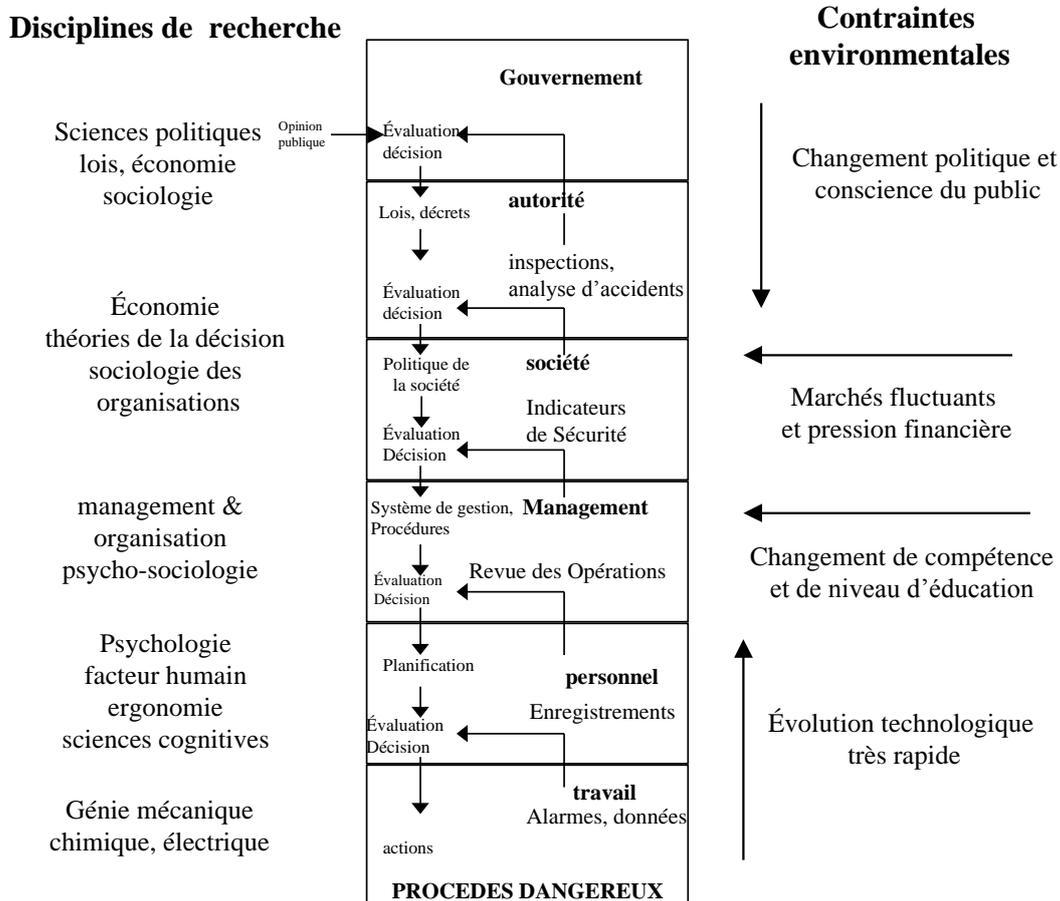
Ainsi sont opposés une dimension technique, avec des phénomènes ayant une **causalité linéaire, mécaniste** avec un certain déterminisme que l'on essaye de mettre à jour à l'aide d'expérimentations (lois prédictives de comportement : telle cause entraîne tel effet ; exemple : un capteur détecte à un certain seuil). Auquel cas une décomposition analytique est possible (en sous-systèmes, événements) et des approches quantitatives aussi.

A l'inverse, dans les domaines humains, organisationnels et sociaux, les interactions entre personnes, entre groupes, entre organisations et systèmes sociaux sont difficiles à prédire, plus complexes (il n'y a pas de déterminisme) et où l'on ne peut transposer le raisonnement causal précédent. Ces **relations causales, dites complexes, dites de causalité circulaire** (cause et effet interagissent entre eux et se transforment mutuellement, on ne sait plus séparer facilement la cause de l'effet) s'appuient sur la **notion de régulation** (feedback en anglais).

A titre d'exemple : un dialogue entre deux personnes ou entités peut bien se passer ou à l'inverse dégrader la communication à court et long terme ; ou encore une information est fournie par une interface homme-machine : va-t-elle être interprétée correctement ?

On met ainsi à jour les dimensions de **l'information et de finalité**. La **finalité s'oppose à la notion de cause**. Il n'y a pas de causalité extérieure à ces systèmes «complexe organisés» mais des finalités qui permettent de comprendre leur fonctionnement, à l'aide du principe de régulation.

De tels mécanismes se retrouvent au cœur de la société et de l'activité humaine également. Information, et finalités sont des particularités du monde social dans lequel nous vivons. **Les individus ont des finalités qui se traduisent par des stratégies, des raisons qui permettent de comprendre leurs comportements, en fonction de leurs contextes. Les organisations fonctionnent sur des principes de finalités**, d'objectifs à atteindre également et sont dépendantes d'un contexte, économique, de marché etc. Dans tous ces cas, il y a aussi présence d'un environnement, qui contraint l'atteinte des finalités de ces systèmes.



SYSTÈME SOCIO-TECHNIQUE (RASMUSSEN 1997)

Figure 3 : le système sociotechnique tel que défini par Rasmussen en 1997

Auquel cas, on parle souvent en sécurité de facteurs d'influences (cf figure 1 avec FOP et FOR) qu'il faudra mettre à jour et dont il faudra évaluer voire juger de leur effet sur la sécurité dans le cadre d'une investigation.

En conclusion, il convient de retenir :

- **Qu'un accident est la combinaison ou somme de causes directes ou immédiates (défaillances techniques et/ou erreur humaine) ET de causes profondes (humaines, organisationnelles, sociétales),**
- **Que la prévention de défaillances techniques ou d'erreurs humaines (causes directes) passe non seulement par l'identification et la mise en œuvre de mesures correctives techniques mais aussi et surtout par l'identification et la mise en œuvre de mesures correctives au niveau de l'organisation du travail et de la sécurité,**
- **Que l'identification et la recherche des causes directes et profondes nécessitent une approche multi-disciplinaire avec la participation et/ou l'interrogation des acteurs à différents niveaux de responsabilités (opérateurs, concepteurs, contre maîtres, ingénieurs, managers,...) ET avec l'apport de compétences scientifiques (chimistes, expert en explosion, ergonomes, sociologues, enquêteur,...).**

Exemple d'accident ancré et généré par des défaillances au sein du système sociotechnique

Exemple de la catastrophe de Bhopal

(extrait du rapport sur le site www.ineris.fr , intégration des aspects organisationnels dans le retour d'expérience : l'accident majeur, un phénomène complexe à étudier)

Cet exemple d'accident vise à illustrer les multiples défaillances observées aux différents niveaux du système sociotechnique (ci-dessous) et qui ont favorisées le développement de l'accident, qui ont influencées les conditions dans lesquels la catastrophe s'est produite, et qui ont affaiblies les mesures de sécurité visant à prévenir le développement d'une telle catastrophe.

Disciplines de recherche

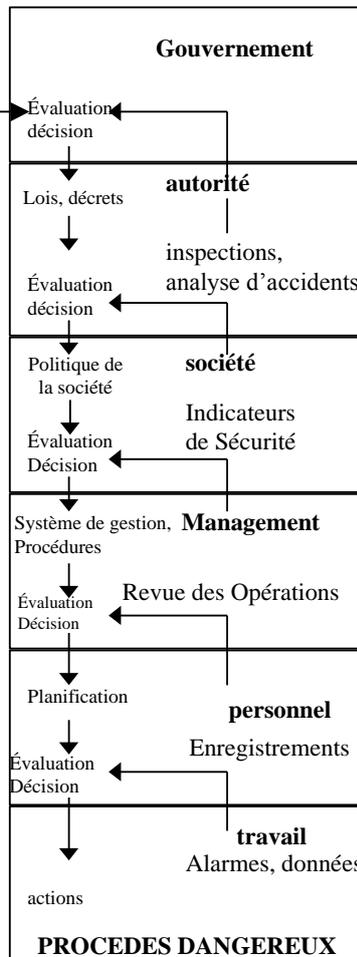
Sciences politiques
lois, économie
sociologie

Économie
théories de la décision
sociologie des
organisations

management &
organisation
psycho-sociologie

Psychologie
facteur humain
ergonomie
sciences cognitives

Génie mécanique
chimique, électrique



Contraintes environnementales

Changement politique et conscience du public

Marchés fluctuants et pression financière

Changement de compétence et de niveau d'éducation

Évolution technologique très rapide

SYSTÈME SOCIO-TECHNIQUE (RASMUSSEN 1997)

Résumé de l'accident, contexte général

Tôt dans la nuit du 3 décembre 1984, la fuite accidentelle de MIC (isocyanate de méthyle), composé hautement toxique d'un réservoir de stockage, à l'usine de l'Union Carbide à Bhopal en Inde, a causé la mort d'environ 3000 personnes et des blessures et séquelles permanentes de plus de 200 000 personnes, avec des effets qui ont perduré dans les années qui ont suivi.

L'usine de Bhopal était située dans une zone dense de population car l'usine avait attiré énormément de populations.

L'UCIL (Union Carbide of India Limited), filiale indienne d'Union Carbide, met en service l'usine à Bhopal en 1969.

Elle était initialement destinée à la formulation de pesticides à partir de substances concentrées importées de la maison mère aux Etats-Unis.

Puis à partir de 1974, après autorisation du gouvernement central de l'Inde, elle s'est mise à fabriquer industriellement des pesticides, dont le SEVIN, en important le MIC de la maison mère. A partir de 1980, l'usine de Bhopal produit le MIC nécessaire à la fabrication des pesticides, ce qui a nécessité des extensions de l'usine.

Procédé de fabrication et de stockage du MIC

Le monométhylamine réagit avec un excès de phosgène en phase gazeuse pour produire du MIC et de l'acide chlorhydrique.

Les produits de la réaction sont absorbés dans du chloroforme.

Le phosgène qui n'a pas réagi est séparé par distillation du liquide absorbé puis est remis en circulation dans le réacteur.

Le liquide provenant de la distillation alimente la section de pyrolyse où la production de MIC a lieu.

Puis le MIC est envoyé dans un distillateur et stocké.

Le système de stockage du MIC est constitué de trois réservoirs, deux pour un usage normal (réservoirs 610 et 611) et un pour un usage de secours (réservoir 619). Les caractéristiques du réservoir sont les suivantes :

Dimensions	Diamètre : 2,4 m Longueur : 12 m Capacité nominal : 60 m ³
Matériau	Acier inoxydable 304
Conditions de stockage	Pression d'utilisation : 40 psig (2.75 bar) à 121°C Pression de test hydrostatique : 60 psig (4 bar)

Caractéristiques des réservoirs de stockage du MIC

Un système de réfrigération de 30 tonnes permet de conserver le contenu du réservoir à 0°C en faisant circuler du fréon à travers un échangeur externe de chaleur.

Chaque réservoir est muni:

- D'un contrôleur de pression qui contrôle la pression dans le réservoir nécessitant la manipulation de deux vannes : une vanne d'alimentation en azote et une vanne de purge de vapeur,
- D'une soupape de sécurité protégé par un disque de rupture,
- D'une alarme sur la température
- D'alarmes de niveau haut et bas.

Une tour de neutralisation et une torchère permettent de traiter les gaz d'évent. La tour de lavage neutralise les gaz avec de la soude. Il y a deux entrées dans la colonne, l'une collectant les gaz des événements du réservoir (PVH) et l'autre collectant les rejets des soupapes de sécurité (RVVH). Les deux circuits sont également reliés à la torchère. La mise à l'atmosphère après passage dans la tour de lavage se fait à une hauteur de 33 m.

Commentaires associés à la représentation (figure 1 - Accimap)

1. Au début des années 80, l'usine se heurte à une crise économique : prolifération de la concurrence de petits fabricants de pesticides, conditions météorologiques défavorables, d'autres pesticides moins dangereux sont apparus sur le marché. Suite à cela, la direction de l'UCIL est modifiée en 1982 et l'usine de Bhopal est soumise à une politique économique drastique sous la pression de la maison mère.

2. Ainsi 300 employés sont congédiés et 150 employés permanents sont affectés à des travaux pour lesquels ils n'étaient pas forcément qualifiés. L'équipe de production du MIC est passée de 12 à 6 personnes.

3. En 1982, un audit a eu lieu sur le site de Bhopal. Malgré une visite globalement positive, le rapport d'audit faisait état de 10 motifs importants de préoccupation relatifs à des possibilités de fuite de MIC ou de phosgène, à la fluctuation du personnel et à des carences en dispositifs de protection (pulvérisation d'eau), en dispositifs de sécurité (soupapes, capteurs, ..), en application de procédures diverses.

Parmi les 10 motifs de préoccupation jugés importants, on en relève cinq :

-*Point 3* : Des possibilités de fuites de substances toxiques dans l'unité de fabrication du phosgène et du MIC, ou dans les dispositifs de stockage.

- *Point 4* : Le manque d'une installation fixe de protection par pulvérisation d'eau dans plusieurs secteurs de l'usine, permettant en cas de fuite de dissoudre les gaz toxiques et d'éviter leur diffusion, y compris à l'extérieur de l'enceinte de l'usine.

- *Point 7* : Des carences relatives à l'état de certains matériels (soupapes de sécurité) et aux programmes de maintenance des dispositifs d'instrumentation (capteurs de température, de pression, ..).

- *Point 8* : Des carences dans l'application des procédures de consignation, de verrouillage, de certains matériels en panne et/ou en maintenance. En particulier, dès 1982, il avait donc été reconnu des déficiences dans l'application de la procédure du "master tag", consistant à placer des fonds coulissants dans certaines tuyauteries, afin de les obstruer complètement et de façon sûre, avant de procéder à des opérations de nettoyage en amont ou aval de ces fonds.

- *Point 10* : Les experts avaient attiré l'attention sur les conséquences néfastes liées aux fluctuations importantes du personnel dans l'usine, en particulier dans le secteur de la production.

4. D'autre part, au moins cinq accidents ont eu lieu entre 1981 et 1984 à Bhopal causant la mort d'un ouvrier et de nombreux blessés, suite à des fuites toxiques dont une fuite de MIC, d'acide chlorhydrique et chloroforme en 1982. De plus, le retour d'expérience concernant la sécurité d'installations identiques dans des usines de la compagnie aux Etats-Unis n'a jamais été transmis à l'usine de Bhopal.

5. Dès 1976, les syndicats des ouvriers de Bhopal ont émis des plaintes concernant la sécurité non seulement à la direction du site mais également au ministre du travail de l'Etat de Madhya Pradesh.

6. Du fait de la situation économique et de la politique de restriction de l'usine, la maintenance n'est pas assurée convenablement, et peu à peu les barrières de sécurité ne sont plus maintenues.

7. Par exemple, sont hors service le système de réfrigération en juin 1984, la tour de lavage en octobre 1984 dans la mesure où le MIC n'était plus produit mais uniquement stocké et la torchère au cours de ce même mois car une section de canalisation corrodée menant à la torchère a été enlevée (voir liste des barrières de défense sur la figure 15).

8. Enfin, selon les ouvriers, il y avait des défaillances au niveau de l'instrumentation, telles que sur l'alarme de température haute, sur le contrôleur de pression et l'indicateur de niveau. Par ailleurs, les ouvriers ne prennent plus en compte ces alarmes, ils finissent par douter du fonctionnement en marche correcte des installations.

9. Ainsi, dans l'usine règne un état de dégradation du climat de travail dû à plusieurs facteurs énoncés précédemment : désintérêt manifeste des Directions pour l'usine, peu d'intérêt accordé par les managers à la sécurité et à la sûreté, et remplacement fréquent (*turnover*) de ceux-ci qui entraîne des changements dans les procédures de la gestion des installations, ce qui n'aide pas les opérateurs,

10. Le départ de nombreux agents et la diminution des effectifs conduisant à la suppression de postes cruciaux. La méconnaissance des particularités et difficultés par les responsables, a pu les conduire à une accumulation de décisions (ou d'absences de décisions) inhabituelle.

11. Au matin du 2 décembre 1984, les opérations de lavage ont été menées afin de dissoudre le trimer, produit de polymérisation du MIC avec l'eau résiduelle. Pour cela, les vannes ont été manipulées dans le cadre de l'opération de lavage. Ces manipulations ont entraîné l'introduction d'eau dans le réservoir (les raisons du mauvais maniement des vannes ne sont pas claires).

12. La réaction entre le MIC et l'eau a lieu à l'insu des opérateurs. A 22h45, une relève de quart a lieu. A 23h00, l'opérateur de la salle de commande remarque que la pression dans le réservoir augmente mais qu'elle reste dans la gamme de valeurs acceptable. Vers 0h15, un opérateur se trouvant près de l'épurateur entend un bruit de fuite et, après inspection, on constate qu'un mélange d'eau et de MIC s'écoule d'un piquage de la vanne de décharge principale (vanne 11). Au même moment, l'opérateur de la salle de commande constate que la pression dans le réservoir est passée de 1,8 à 2,1 bar et qu'elle augmente encore. Il va vérifier sur place. En revenant à la salle de commande, il actionne la tour de lavage mais elle ne fonctionne pas (7).

13. Des opérateurs voient des nuages s'échapper de l'unité. Des contremaîtres appellent le responsable de l'usine qui arrive immédiatement, suspend les opérations de lavage et met en route l'alarme pour prévenir les populations environnantes du danger. Il est alors environ 0h30. Quelques minutes plus tard, l'alarme est interrompue, seule demeure la sirène qui prévient uniquement les travailleurs à l'intérieur de l'usine

14. Le dispositif de pulvérisation d'eau n'est pas suffisant, le jet de gaz s'échappe à 35 m de hauteur. C'est l'accident. **(représentation de type « nœud papillon » de la séquence accidentelle MIC figure 2)**

15. Suite aux extensions de l'usine en 1974 pour passer de la formulation de pesticides à leur production, la maîtrise de l'urbanisation n'a pas pour autant été adaptée aux nouveaux risques et la ce après autorisation du Gouvernement Central de l'Inde.

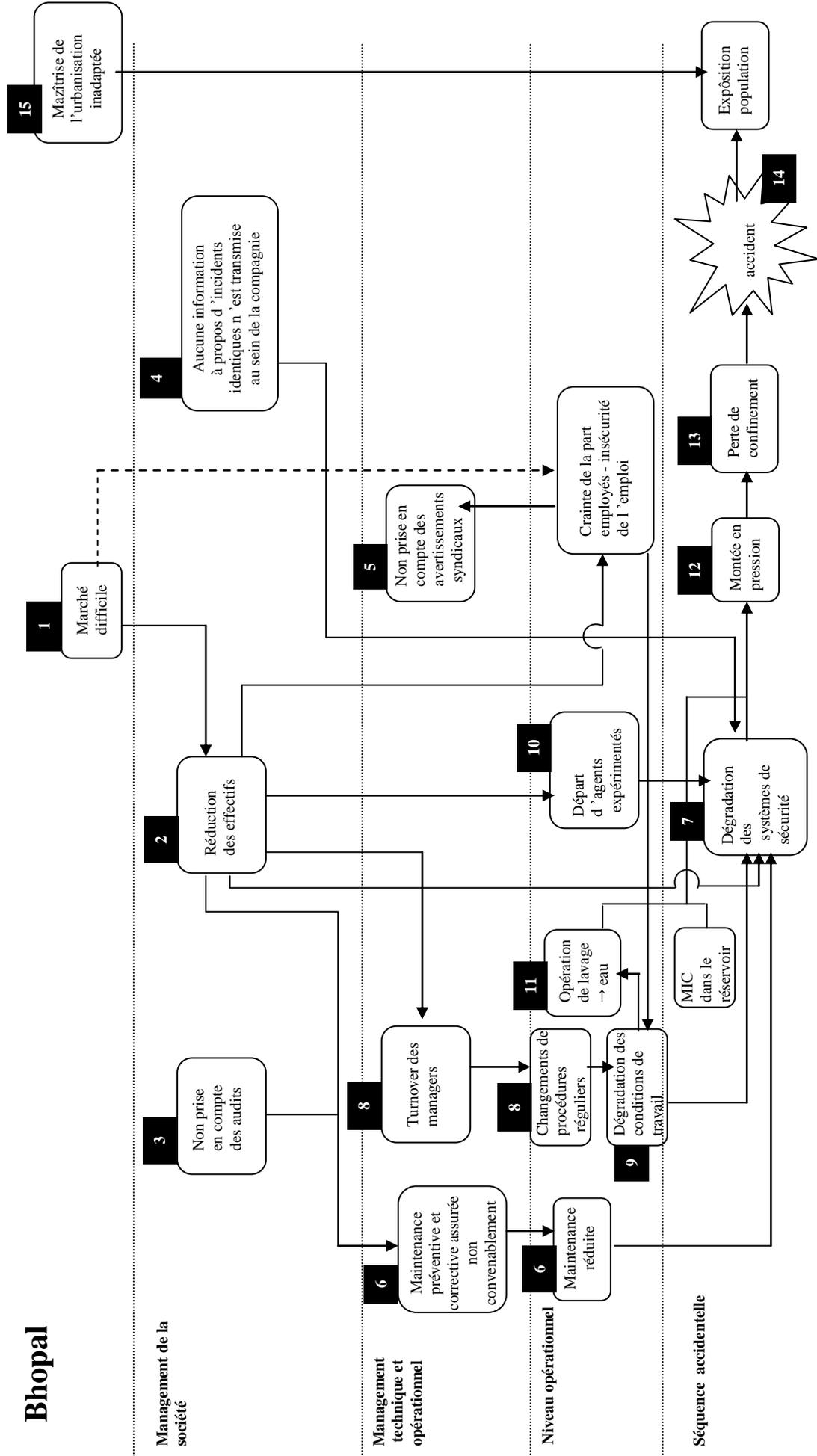


Figure 1 : Représentation de l'accident de Bhopal

BHOPAL

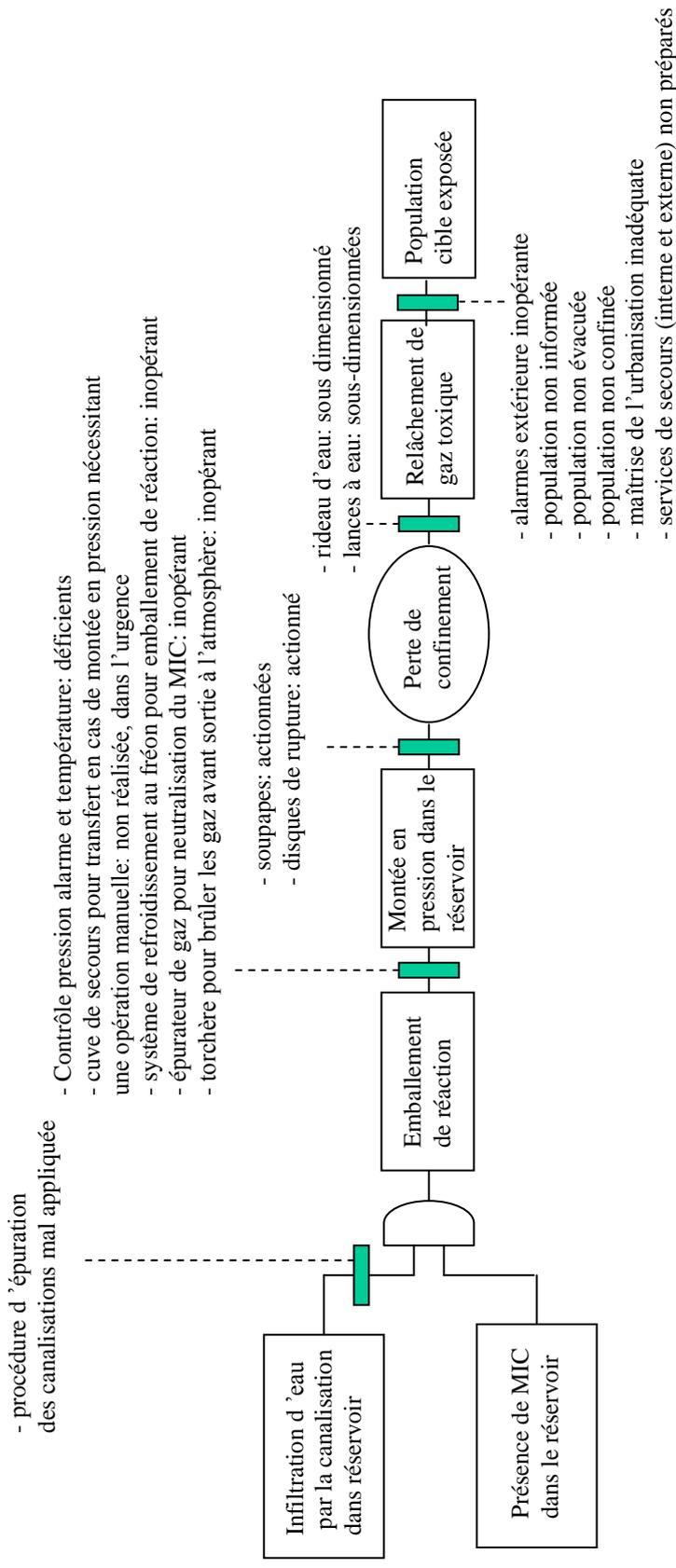


Figure 2 : Représentation de la séquence des événements en tant que barrières prévues

Check-list des actions initiales

Rappel Hygiène Sécurité Environnement pour préparer la visite de terrain :

Cette première visite doit s'organiser avec la hiérarchie au regard des informations disponibles afin de s'équiper, le cas échéant après analyse des risques, d'équipements de protection personnel.

Il peut être opportun de se déplacer à 2 personnes notamment pour des questions de sécurité mais aussi pour garder la mémoire des premiers faits (et preuves non pérennes) et croiser les analyses.

Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche relative l'équipement HSE

Actions préparatoires envisageables avant les accidents :

En vue du déplacement sur site, il convient d'emporter le matériel éventuellement nécessaire à l'action sur le terrain pour sécuriser la scène des faits, pour la prise de photos et pour la collecte d'échantillons...

Il est à noter qu'une préparation de ses équipements et matériels en amont des accidents permettra d'accroître la réactivité et la sécurité de la mission.

Actions initiales sur place :

Les actions qu'il pourrait être nécessaire de conduire le cas échéant sont découpées en thématiques organisées de manière chronologique dans la mesure du possible :

Une fois sur place, et après s'être signalé auprès de l'Industriel et des autres parties prenantes (en particuliers la Police et les Services de Secours), **la première action** qui pourrait être conduite serait de **vérifier les risques encourus** à aller sur la zone endommagée/accidentée (chutes d'objets, bâtiments fragilisés, produits toxiques, fuite d'hydrocarbures, de gaz, incendie en cours, feu couvant...).

La seconde action qui pourrait être nécessaire de mener serait de **vérifier s'il y a lieu de prendre des mesures d'urgence**.

Cette action pourrait être menée en parallèle par l'un des binômes de l'enquête de façon à différencier la gestion des situations d'urgences et actions administratives de la préparation de l'enquête technique.

La troisième action qui pourrait être nécessaire d'effectuer serait de **délimiter la (voire les) zone(s) à investiguer** (comme le siège d'une explosion, la zone de projection de débris, la zone d'effets,...).

Cette zone fera l'objet d'une investigation ultérieure par l'enquêteur (éventuellement des renforts) ou par des experts ou laboratoires mandatés.

La quatrième action est une série d'actions concomitantes dont les priorités dépendent des contraintes du terrain. L'enjeu majeur est de garder des traces de l'état de la situation après l'accident et de collecter les éléments de preuve qui peuvent être dégradés dans le temps.

Ainsi une fois la zone à investiguer sécurisée, il peut être nécessaire de déclencher **(ou faire déclencher avec l'industriel et/ou des laboratoires et experts) la collecte des faits et preuves non pérennes** qui peuvent se dégrader dans le temps, par exemple :

- Collecte des produits réactifs, réactants, catalyseurs, dépôts de produits de combustion, de poussières ;
- Prise des photos des effets, dommages, certains indicateurs permettant de statuer sur l'état d'un procédé ou d'un stockage (position des vannes, des niveaux, capteurs, dispositifs de sécurité shuntés ou non ...) ;
- Récupération des enregistrements de procédés, d'équipements, d'automates, vidéo, sous forme électronique ou papier, et autres données spécifiant l'état du système dans les secondes, minutes, heures, et jours avant l'accident ;
- Collecte des mains courantes, des plans de prévention, permis de feu, des procédures, modes opératoires, ou études de sécurité.

Dans ces phases, bien que la rapidité puisse sembler prioritaire, la représentativité, la fiabilité et la validité des données collectées priment dans la construction de preuves robustes pour l'enquête.

L'investigation détaillée relative à la collecte des données relatives aux dommages, aux effets, aux états des procédés, équipements, stockages est précisée dans les fiches principes de bases n°1 (dommages), n°2 (chronologie) et n°3 (causes).

Remarque sur la prise de photos :

Il sera utile pour la suite de supporter cette action par la réalisation de schémas positionnant les objets, les personnes, les numéros et lieux des prises de photos. Il s'agit ici d'une phase où il faut faire vite.

La cinquième action qu'il pourrait être utile d'engager dès que possible est de **réaliser les premiers entretiens à chaud** de façon à prendre des notes sur ce dont ils ont été les témoins, ce qu'ils ont perçu (vu, entendu, senti,...).

Là encore, la rapidité prime et les besoins d'entretiens détaillés sont spécifiés dans les fiches principes de base 1 à 6. Pour la conduite de ces entretiens détaillés, une fiche pratique a été développée.

Il s'agit de repérer assez vite (avec l'industriel et les services de secours essentiellement, parfois des voisins) qui étaient les témoins clés des événements de l'accident et de l'intervention des secours qui nécessiteront de plus amples entretiens.

A ce stade il s'agit de se concentrer sur les **questions factuelles Quoi ?, Qui ?, Quand ?, Où ?, et d'éviter l'écueil de vouloir résoudre l'analyse de l'accident en répondant aux questions Comment ? et Pourquoi ?.**

Les entretiens à chaud peuvent permettre **d'interviewer les témoins sur ce registre des faits** avant qu'eux mêmes ne recourent les informations entre témoins et en fassent l'analyse.

La sixième action est de s'attacher à **observer si des non-conformités** à la réglementation des IC ont été réalisées en lien avec l'occurrence de l'accident.

Exemple des premiers questionnements typiques pour orienter les premières observations sur site en lien avec les actions initiales :

A titre d'exemple, une série de questions est présentée ci-après dont il faut retenir les principes (Où ?, Quand ?, Quoi ?, Qui ?, Comment ?...) :

- **Quand** l'accident s'est-il produit ? A-t-il été précédé de signes avant-coureurs ? voire d'incidents ?
- **Qui** a été impliqué dans l'accident et à quel titre (victimes, actions opératoires, actions de secours, témoins), et à quel moment ? qu'ont-ils vus ? entendus ? sentis ? Qui connaît les installations en cause ?
- **Où** : Quelles sont les premières conséquences repérables dans et à l'extérieur du site ?
- Le risque est-il encore présent (feu couvant, rejet de matière dangereuse) ? nécessite-t-il de prendre des mesures d'urgence, de se protéger ?
- Est-il possible d'identifier la zone de l'accident, sa ou ses sources ?
- Est-il possible d'y accéder ? Faut-il sécuriser la zone des faits pour de futures investigations ?
- **Quoi, Comment** : Le procédé, l'objet, la substance peut-elle avoir été une cause de l'accident ou une conséquence, un effet ?
- Indique-t-elle des traces de transfert d'énergie (déformation, brûlure, corrosion,...) ?
- Est-il possible de prendre des photos et de collecter des échantillons ?
- Est-ce un composant/équipement critique du système ?
- Dispose-t-on d'un enregistrement des paramètres de fonctionnement du procédé ? de témoignages sur l'enchaînement des opérations et événements ?
- Est-ce que cet équipement a déjà été la cause de problèmes/incidents ?
- Est-ce que cet équipement indique une insuffisance de l'entretien, la maintenance, l'inspection des installations ?
- Est-ce un produit qui doit être transporté, manipulé d'une manière spécifique ?

Bilan consécutif à la visite initiale :

A la suite de cette visite initiale, un premier bilan peut être fait au sein de la structure en charge de l'enquête en particulier au regard des missions de gestion des situations d'urgences, mesures d'urgences et enquête technique pour les besoins de l'action Administrative.

La situation Administrative du site et de l'accident peut faire l'objet d'une première évaluation.

Ce bilan initial, de débriefing, de partage des premières informations, peut permettre d'enclencher les actions administratives immédiates, prévues et de ré-évaluer le niveau de réponse de l'Administration à l'accident (ainsi que la communication à chaud). Si des actions nouvelles sont prévues, elles auront un impact de fait sur le cahier des charges ou champ de l'enquête technique.

Equipement HSE

Rappels généraux Hygiène Sécurité Environnement pour préparer la visite de la zone accidentée :

La visite initiale sur le lieu de l'accident ou la zone accidentée (ainsi que visites ultérieures) doivent s'organiser avec la hiérarchie au regard des informations disponibles afin de s'équiper, le cas échéant après analyse de ses risques, d'équipements de protection personnels.

Il est nécessaire de se référer aux procédures usuelles de l'organisation en matière de gestion de la sécurité du personnel lors d'inspections, de travaux ou de maintenance. A titre complémentaire des suggestions sont apportées pour les situations post-accidentelles.

La documentation réglementaire et technique (Déclaration, Dossier d'Autorisation d'Exploiter, Plan d'Opération Interne, Procédures, Modes opératoires...) doit fournir des indications (ex. dangers, fiches de données de sécurité,...) quant aux **risques principaux encourus a priori** sur l'établissement. Elle devrait pouvoir être consultée lors de la préparation de la visite du lieu de l'accident.

NB : Néanmoins, les accidents nous enseignent que certains risques étaient parfois inconnus et des situations accidentelles peuvent produire des effets inattendus (ex. dioxine en tant que produit d'une réaction incontrôlée à Seveso).

Ainsi, Il peut être opportun de se déplacer à 2 notamment pour des questions de sécurité. **En tout état de cause, l'(ou les) enquêteur(s) se fera(ont) accueillir et accompagner sur la zone accidentée par le service HSE du site.** En effet, le service HSE du site doit fournir les équipements adéquats, fournir l'évaluation des risques et les procédures de sécurité et d'urgences associées.

Le cas échéant, les Services de Secours peuvent être un appui sur l'analyse des risques, l'évaluation et la mesure des expositions aux risques (ex. analyseurs de gaz,...) ainsi que sur les nécessités d'emploi d'équipements de protection individuels plus complexes.

Si des **visites particulières** d'installations ou bâtiments endommagés ou des **échantillonnages** sont prévus, il convient préalablement de s'assurer de la sécurisation de la zone par l'entreprise.

Equipement de protection de base :

Dans certaines situations accidentelles et pour certains équipements de base, il peut être nécessaire de disposer d'un minimum d'équipements et d'autonomie.

Les équipements de base sont :

- Casque aux normes,
- Lunettes de protection,

Mémento technique - Enquête Accident - Fiche pratique D : Equipement HSE

- Chaussures de sécurité,
- Gants (adaptés),
- Gilet fluorescent,
- Gilet de sauvetage,
- Appareil respiratoire adapté aux conditions d'exposition,
- Vêtements de protection et combinaison adaptés,
- Appareil de protection auditif,
- Kit des premiers secours.

Exposition aux risques

Les configurations industrielles d'exposition à divers risques, notamment dans la chimie selon les produits impliqués, sont nombreuses. Un certain nombre de ces risques peuvent être listés :

- Chutes : ex. escaliers, galeries, grandes hauteurs, sols glissants...
- Chutes d'objets : ex. structure dégradé par l'accident,...
- Matériel en mouvement : machines en mouvement, wagons, camions,...
- Bruit excessif,
- Electrocutation : fils mis à nu après l'accident,
- Météo à risques : températures extrêmes, orages,...
- Exposition à des zones froides, chaudes ou avec des flux thermiques,
- Espaces clos : risques d'anoxie (zone inertée, post-combustion, fermée...), d'intoxication par inhalation (ex. CO,...), de formation d'ATEX,
- Produits chimiques et odeurs : certains composés sont inodores (ex. N₂, CO,...) ou toxique à des concentrations inférieures au seuil olfactif,
- Réactions chimiques de matières dangereuses incompatibles,
- Risques d'incendies et d'explosions,
- Risques de corrosion,
- Matières biologiques et infectieuses,
- Radiations ionisantes : ex. sources scellées ou non.

Pour ce qui est des matières dangereuses, le degré de gravité dépend essentiellement de l'exposition aux substances en cause, à leur concentration, à leur durée d'exposition, à leur voie d'exposition ou de pénétration dans l'organisme, à la santé de l'individu, au temps écoulé avant le traitement, et à d'autres facteurs plus environnementaux (humidité, température,...).

Equipement de protection plus complexe :

En tout état de cause, l'accès à certaines zones accidentées ou à certains ateliers doit pouvoir bénéficier des analyses a priori des risques et de leurs procédures de sécurité associées. L'industriel doit disposer des équipements de protection plus complexes nécessaires à l'accès à certaines zones (ex. port du masque à la ceinture, détecteurs dans certaines zones...).

Mémento technique - Enquête Accident - Fiche pratique D : Equipement HSE

Pour ce qui est des **appareils respiratoires** qui fonctionnent avec des **cartouches filtrantes**, il convient de savoir qu'il faut adapter les cartouches aux gaz potentiellement inhalables et se souvenir que leur saturation conduit à leur inefficacité. Il convient de se rapprocher d'utilisateurs quotidiens de ces dispositifs comme les pompiers. En général, les boîtes de cartouches sont équipées de manuels indiquant le choix des cartouches filtrantes en fonction des risques d'exposition à différents gaz.

Dans certaines zones des usines ou espaces clos, il convient de disposer de **détecteurs de gaz** que les entreprises ou les pompiers ont en général : détecteur de CO, d'anoxie (O₂), et d'ATEX.

On peut rajouter à ce stade les dispositifs « homme-mort » pour certaines visites non accompagnées.

Pour ce qui est des **vêtements de protection contre les agents chimiques**, il convient de savoir qu'il n'existe pas de matériau unique qui puisse protéger contre tous les produits chimiques. D'autre part, ces vêtements de protection, pour la plupart, ne protègent pas contre des facteurs physiques, électriques, les incendies ou les dangers d'irradiation. Encore une fois, il convient de se rapprocher d'utilisateurs quotidiens de ces dispositifs comme les pompiers. Il existe des tableaux ou matrices qui permettent de déterminer le matériau du vêtement de protection et son épaisseur en fonction de leur taux de perméabilité au regard de grandes catégories de produits chimiques (ex. acides, alcools, hydrocarbures,...). D'autres facteurs sont importants comme la concentration chimique, la durée de contact, la qualité du matériau, l'humidité et la solubilité du matériau dans le produit chimique.

Manipulation et transports d'échantillons

Le prélèvement, la manipulation, le transport et l'analyse en laboratoire d'échantillons de matériaux et produits chimiques peuvent présenter des risques pour chacun des intervenants potentiels (préleveurs, transporteurs et analystes au laboratoire).

Les risques doivent être recensés, évalués et communiqués aux intervenants (ex. au laboratoire d'analyse, au transporteur et au préleveur, qui doivent selon leurs procédures le demander à réception de la demande de l'enquêteur). Enfin ceux-ci doivent s'équiper le cas échéant de manière adaptée.

Pour ce qui est du transport notamment de marchandises dangereuses, des réglementations encadrent ce type d'activités. Ceci peut être rapidement problématique (ex. quantités seuils très faibles pour des échantillons d'explosifs). Le transport des échantillons dans un véhicule personnel n'est pas sans risques et le transport en commun ne sera pas privilégié.

L'emballage des matières dangereuses ou échantillons prélevés dans une zone accidentée doit être fait selon certaines règles de compatibilités de matériaux. L'enquêteur peut disposer de certains flacons, bocaux en verre mais devrait pouvoir s'appuyer sur une entité réalisant des prélèvements.

Les échantillons doivent être identifiés, tracés et leurs risques communiqués sur leur emballage.

Source de données et de faits

La collecte des données, des faits, voire des preuves sur un site après un accident peut s'étendre loin du site de l'accident voire en dehors.

Il y a **5 grands types de sources** (Center for Chemical Process Safety) où des données peuvent être collectées :

1. Les personnes : témoins, participants, victimes,
2. Les produits, procédés, matériaux,
3. Les sources électroniques comme les enregistrements,
4. Les données de position : des acteurs, des données physiques (produits), des équipements et procédés (vannes, interrupteur,...)
5. La documentation.

Les **preuves non pérennes** devraient être considérées comme **la priorité** (produits, traces de phénomènes, projections, enregistrements, témoignages à chaud...).

1. SOURCE DE DONNEES AUPRES DES PERSONNELS

Le cas échéant :

- Opérateurs de quart et autres,
- Opérateurs (internes et sous-traitants) de maintenance des équipements accidentés,
- Ingénieurs process, et concepteurs des installations
- Management et supervision (exploitation et maintenance),
- Laboratoires de chimie, contrôle qualité et autres,
- Personnel d'entretien,
- Personnel des achats,
- Premiers répondants,
- Chercheurs, et experts externes,
- Fabricants et personnel impliqué dans le démarrage des installations,
- Ancien personnel de l'installation, ayant vécu des incidents,
- Rondiers et personnel de sécurité.
- ...

2. SOURCE DE DONNEES PHYSIQUES (PRODUITS, PROCEDES, MATERIAUX)

Le cas échéant :

- Des éléments de réservoir, de procédé, de tuyauteries, métallurgiques, vannes, soupapes, disques de rupture, capteurs et leurs projections...
- Des échantillons de produits en cours de fabrication, des réactants, des produits finis, dépôts sur les équipements, des déchets
- Des échantillons des traces de phénomènes (incendie, de projection, endommagés par une explosion, de corrosion...)
- Des échantillons du laboratoire d'analyse interne,
- Des échantillons de point de référence ou zéro (des produits aux équipements),...
- ...

3. SOURCE DE DONNEES ELECTRONIQUES (ENREGISTREMENTS)

Le cas échéant :

- Du fonctionnement du procédé (centralisé),
- De capteurs isolés et automates,
- D'enregistrements de conversations,
- De vidéos.
- ...

4. SOURCE DE DONNEES DE POSITION

Le cas échéant :

- La position de chaque vanne du procédé mis en cause dans l'accident,
- La position de chaque interrupteur, dispositif de contrôle, soupape,
- L'état des niveaux de chaque contenant (réservoirs, réacteurs,...),
- Consignations,
- Les débits, températures, pressions en cours...
- Localisation des produits dans les équipements,
- Localisation des effets de l'accident (flammes, traces de fumée, effets de pression, corrosion) sur les procédés, les projections du système à l'origine du phénomène ou autres dommages à distance (bris de vitre, toitures,...), et cartographie,

- Localisation de tout ce qui a été nettoyé, enlevé, réparé depuis l'accident, ou manquant,
- Localisation des témoins,
- ...

5. LES SOURCES DE DONNEES PAPIER

Le cas échéant :

- Plan du procédé et de son instrumentation (PID), autres dessins et schémas des installations,
- Documents associés à son exploitation, fabrication, conception, maintenance : principes de fonctionnement, procédures, check-list, manuels de maintenance, calculs de conception,
- Planification du travail (CR réunions, procédure d'intervention, mode opératoire, plan de prévention, permis de feu),
- Fiche de vie, cahier de suivi, main courante de l'exploitation, maintenance, inspection,
- Historique d'usure, de corrosion, des réparations, des incidents,
- Résultats des contrôles qualités,
- Fiches de données de sécurité,
- Main courante des services de secours,
- Analyse des risques, étude des dangers, études de sécurité, ATEX, évaluation des conséquences, calculs de dispersion...
- Données météo,
- Documents d'urbanisme,
- Arrêté Préfectoral, réglementation, normes, bonnes pratiques,
- Documents de formation,...
- ...

Conduite des entretiens

1. OBJECTIF DE LA FICHE

Cette fiche a pour objectif de guider les inspecteurs pour la conduite des entretiens dans le cadre d'une enquête après accident. Elle présente les objectifs, la démarche, des principes d'application, les personnes à interviewer et des techniques pour appuyer l'interviewé.

2. POURQUOI UN ENTRETIEN ?

L'entretien d'investigation est une étape essentielle de la collecte et de la caractérisation des faits (c'est-à-dire des informations, observations permettant de caractériser relativement objectivement une situation de travail, un événement, une action, une décision, un objet,...) et des opinions, intentions vues comme plus subjectives mais qu'il faudra aussi collecter.

Les entretiens sont réalisés en support de plusieurs des objectifs de base de l'investigation : établir les conséquences et leurs origines, la chronologie des événements, les causes directes, les défaillances de barrières, les causes profondes et les recommandations.

En résumé, l'entretien comporte trois principaux objectifs :

1. **Décrire et expliquer l'accident** : il s'agit de décrire l'enchaînement des événements qui expliquent l'accident, la séquence accidentelle, les causes directes et le scénario le plus probable.
2. **Comprendre l'accident** : le "matériau" collecté, des verbalisations, permettent, après confrontation, de se faire une idée du contexte de l'accident, de son déroulement, des différentes circonstances, des opérations en cours au moment de l'accident, des difficultés survenues et des causes profondes (humaines, organisationnelles ou sociétales) de l'accident.
3. **Tirer des enseignements** : l'objectif est également de dégager les principaux enseignements de sécurité et d'apprécier les actions d'amélioration prévues par l'exploitant, d'envisager les conséquences potentielles de ces dysfonctionnements et d'évaluer le niveau de généralisation possible des dysfonctionnements survenus.

En outre, l'entretien est aussi l'occasion de recueillir des informations sur les conséquences à la suite de l'accident : la mise en sécurité des installations, la démarche d'analyse d'accident et de retour d'expérience mise en œuvre par l'exploitant, l'état cognitif (surcharge d'informations,...), psychologique (stress,...) des acteurs impliqués et leur aptitude à poursuivre leur mission dans des conditions (moyens organisationnels,...) satisfaisantes de sécurité.

3. COMMENT MENER UN ENTRETIEN ?

Pour simplifier, la collecte des données à partir d'entretiens comprend **deux étapes auxquelles sont associés deux types de méthodes** : l'entretien ouvert et l'entretien ciblé.

- **L'entretien ouvert** porte sur l'ensemble des séquences de l'accident et vise à recueillir en priorité des informations de natures descriptives, mais aussi circonstanciées (chronologie des événements, les actions réalisées, l'état des matériels, les objectifs de production, l'organisation du travail, les moyens à disposition...). L'entretien ouvert fournit par ailleurs de nombreuses informations, parfois inattendues, parfois subjectives, sur l'organisation du travail, les relations entre services, collègues... Quelle que soit leur nature, ces informations pourront être vérifiées ultérieurement par des entretiens plus ciblés ou le croisement des entretiens.
- **L'entretien ciblé** porte prioritairement sur une vérification des faits (obtenue aussi en croisant certains entretiens), sur les différents dysfonctionnements identifiés lors de l'entretien ouvert et vise à recueillir des informations complémentaires de nature cognitive, psychologique et organisationnelle (ce que savait l'opérateur, ses intentions avant d'agir, sa perception de l'environnement...) rendant compte de la logique des acteurs dans l'exercice de leur mission au moment de l'accident.

Remarque : en réalité, ces deux phases et méthodes peuvent être conduites au cours du premier entretien ou des entretiens ultérieurs. En effet et à titre d'exemple lors d'un premier entretien, des phases d'entretien ouvert peuvent s'opérer en début d'entretien pour connaître l'acteur, son rôle et ses responsabilités, puis enchaîner sur des questions plus ciblées sur la chronologie des événements avec les premières informations dont on dispose avant de le questionner sur l'organisation de son travail en général.

La mise en œuvre de cette démarche s'accompagne en général d'une étape de préparation consistant à repérer au préalable les principales phases ou séquence de l'incident (conception du système, opération de maintenance, préparation du redémarrage, relève de quart, réunion de planification...). La préparation consiste également à formuler, à partir des premiers éléments disponibles, des hypothèses sur l'origine des dommages constatés, des dysfonctionnements survenus, des pratiques mises en œuvre et sur leurs causes.

La pertinence des séquences et des hypothèses sélectionnées sera vérifiée au cours des différents entretiens (a priori ciblés). Il pourra être constaté que le cadre temporel d'investigation choisi au départ (ex : quart d'après-midi) est trop restrictif et qu'il doit être étendu (ex : extension au quart du matin).

3.1 ENTRETIEN OUVERT

Basé sur des questions ouvertes (exemples : Pouvez vous me décrire votre travail ? Que s'est-il passé ? Comment ? Dans quel but ?...), l'entretien ouvert permet de favoriser la spontanéité de l'interviewé, d'ouvrir la recherche d'informations et d'élargir le champ exploré. L'entretien ouvert porte sur les différentes phases ou séquences de l'accident ; exemples : maintenance du condenseur, démarrage du réacteur (le choix de celles-ci dépend de l'analyste). Il est conseillé d'avoir constitué au préalable un support disponible au moment de l'entretien portant sur les principales séquences de l'accident et leurs enchaînements temporels.

On peut distinguer **trois principales familles d'informations de nature factuelle** à recueillir lors de l'entretien au regard de chaque événement de la séquence :

- Information sur la **situation de travail le jour de l'accident**, telle qu'elle s'est déroulée le jour de l'accident (contexte perturbé, erreurs, dysfonctionnements, anomalies, variations, dommages observés...).
- Informations sur la **situation travail habituelle**, telle qu'elle se déroule concrètement habituellement (pratiques réelles de travail, buts que se donne l'opérateur, résultats réellement obtenus,...).
- Informations sur la **situation de travail prescrite**, telle que prévue par l'entreprise (procédés de fabrication, mode opératoire, objectifs à atteindre,...).

La description d'une situation comprend :

- La description des caractéristiques des **individus** impliqués : leurs compétences, leur ancienneté au poste, leurs formations, leurs expériences,...
- La description des **tâches** en jeu : ce qu'ils font, ce qu'ils observent, ce qu'ils entendent, ce qu'ils pilotent, ce qu'ils surveillent, ce qu'ils modifient, les buts à atteindre, les critères de réalisation,...
- La description du **matériel** qu'ils utilisent : machine, outillage, produits chimiques, logiciel, procédure, organes de commande, équipement de sécurité,...
- La description du **milieu** dans lequel se déroule le travail : le contexte, l'environnement physique (odeurs, fumées, températures, vibrations...) et relationnel, les contraintes de temps, l'organisation du travail,...

→ **Moyen mnémotechnique : ITMAMI ; Individu, Tâche, MATériel, Milieu**

L'entretien portera successivement sur ces différentes dimensions de la situation de travail et tour à tour sur les différentes classes d'informations à rechercher. Le tableau n°1 peut servir de grille d'entretien pour chacune des phases de l'accident.

Tableau n°1 : Grille d'entretien

Phase n°x	Individu	Tâche	Matériel	Milieu
Prescrit				
Habituel				
Accidentel				

3.2 ENTRETIEN CIBLE

L'entretien ciblé vise essentiellement à vérifier certains faits (par des questions fermées, exemple : avez-vous vu cela à tel moment ?), obtenir des informations complémentaires sur certaines hypothèses (causes, dysfonctionnements) en cours d'analyse, et à éclairer les faits par des données plus subjectives liées au contexte de travail, aux perceptions des acteurs et à leurs intentions afin de mieux comprendre l'accident.

L'identification des tâches effectuées le jour de l'accident permettra d'identifier des stratégies ou actions humaines inappropriées. Lors de l'entretien ciblé, il s'agira, pour chacun des acteurs rencontrés, de s'intéresser à leur logique en posant ce type de question à l'interviewé :

- **Que savait-il ?** Quelle idée vous faisiez-vous de l'état du système ? Que saviez-vous de ce qu'il fallait faire ? Que connaissiez-vous du rôle des autres acteurs ?...
- **Que voulait-il ?** Quelle était votre intention ? Quelles échéances vous étiez-vous fixées ? Quelle finalité recherchiez-vous ? Sur quel organe vouliez-vous agir ?
- **Que pouvait-il ?** De quels moyens disposiez-vous ? Ces moyens étaient-ils adaptés au but poursuivi ? De quel autre moyen aviez-vous besoin ?...

→ **Moyen mnémotechnique : SVP : Que Savait-il ? Que Voulait-il ? Que Pouvait-il ?**

Les réponses à ces questions peuvent par exemple mettre en évidence un manque de confiance des opérateurs dans les procédures, des objectifs contradictoires parmi les différents acteurs, un manque de communication entre les acteurs ou des outils détournés de leurs fonctions initiales. Ces réponses permettront progressivement de comprendre les erreurs survenues. L'intervieweur devra également vérifier auprès de l'acteur la fréquence ou le caractère répétitif des dysfonctionnements survenus afin d'en tirer des enseignements plus généraux sur la gestion de la maîtrise des risques.

3.3 PRINCIPES D'APPLICATION

3.3.1 ON NE TROUVE QUE CE QUE L'ON CHERCHE !

Comme toute démarche de collecte de donnée, **l'entretien d'investigation n'est jamais neutre.**

En effet, l'interviewer est prisonnier d'un ensemble d'a priori liés à son expérience qui conditionnent sa propre lecture de l'accident et la démarche d'entretien des acteurs (des exemples : les phases de travaux sont réputées accidentogènes ; la plupart des accidents sont d'origine humaine ; la fiabilité humaine est principalement liée à la personnalité des individus ; la traçabilité est un facteur primordial de sécurité...).

L'ensemble de ces a priori sont des repères souvent utiles pour orienter a priori la collecte de données mais ont également pour effet de restreindre celle-ci, de biaiser l'analyse causale de l'accident et ainsi de limiter la pertinence des actions d'amélioration. En conséquence, l'analyse des accidents implique de se débarrasser de ses a priori, d'adopter une posture la moins normative possible, la plus naïve possible et d'accepter de se laisser surprendre.

En effet après coup, il est facile de tomber dans un piège (biais rétrospectif) qui implique un jugement en connaissance des éléments alors que les acteurs dans la situation ne les connaissaient pas tous. En effet, rares sont les acteurs qui font des actes qui provoqueraient un accident et ce de manière délibérée.

3.3.2 L'ERREUR HUMAINE N'EST PAS LA CONCLUSION DE L'ANALYSE !

L'erreur humaine apparaît parfois, comme une explication suffisante de l'accident. Par exemple, à la suite de la catastrophe de Tchernobyl, les premiers éléments fournis par les responsables russes faisaient peser tout le poids de l'accident sur les opérateurs en insistant sur les non respects de règles de conduite. L'analyse des causes profondes de l'accident a révélé que ces règles n'étaient ni claires ni comprises et que les principales causes de la catastrophes étaient liées à la conception de l'installation, à la pauvreté des études de sécurité ainsi qu'à la faiblesse des spécifications techniques d'exploitation et de la formation qui en résultait.

En réalité, l'erreur doit être considérée non comme l'aboutissement mais comme le point de départ de l'analyse :

- L'acteur était-il préparé à la situation (expérience, formation, préparation,...) ?
- Disposait-il en temps et en heure des informations et outils nécessaires à son activité de travail ?
- Quelles étaient les caractéristiques de la situation ce jour-là ?
- Comment l'organisation prévoyait l'identification de la dérive et le rattrapage de celle-ci ?...

Ainsi, l'entretien doit permettre d'aborder les dysfonctionnements humains et organisationnels survenus conjointement aux caractéristiques des nombreuses situations de travail (actions, décisions, réunions,...) en ayant été le siège.

3.3.3 PRIVILEGIER DANS UN PREMIER TEMPS LE RECUEIL DES FAITS

- **Privilégier dans un premier temps le recueil des faits à celui des opinions :** les faits renvoient au déroulement de l'accident (ouverture d'une vanne, communication, calcul de la concentration...), les opinions renvoient à l'interprétation de ces faits (cette décision n'était pas adaptée, il s'agit d'un écart aux prescriptions, le manque de formation n'a pas permis de prendre la bonne décision,..). Les entretiens ont tendance à rapidement dériver sur le terrain des opinions et à négliger le recueil des faits. Or, les faits sont la base de l'analyse et servent à en démontrer la pertinence. En conséquence, l'entretien doit d'abord porter sur les faits, indiscutables, plutôt que sur les opinions, en général propices aux désaccords et aux conflits. **La priorité au départ étant d'établir un consensus sur la chronologie des événements et le scénario le plus probable.**
- Dans un second temps, les informations plus subjectives doivent être aussi collectées pour comprendre les causes profondes (humaines, organisationnelles et sociétales) de l'accident. Ainsi les opinions, désaccords voire conflits sont riches d'enseignements dans ce cadre sur la gestion des risques a priori par l'organisation.

4. QUELLES PERSONNES INTERVIEWER ?

Le choix des personnes à interviewer dépend des premiers éléments d'information disponibles sur l'accident. Le plus souvent techniques, ces premiers éléments tendent à désigner les opérateurs situés aux interfaces directes avec les substances ou procédés dangereux (opérateur, rondier, agent de maintenance...).

L'enquête implique également de rencontrer les acteurs en charge de l'organisation du travail et de la maîtrise des risques (manager, ingénieur méthode, ingénieur qualité, sécurité et environnement, formateur...). Enfin, certains accidents (notamment les accidents majeurs) impliquent d'élargir l'échantillon des personnes interviewées à des acteurs « périphériques » au système industriel concerné : prestataires, co-traitants, clients, fournisseurs, organisation des secours, autorités de contrôle, les différents experts, les législateurs, les gestionnaires de l'urbanisme...

Par ailleurs, chaque entretien individuel est aussi l'occasion d'identifier certains acteurs ou témoins clés que les premiers éléments disponibles n'avaient pas permis de prendre en compte (exemple : agents de l'équipe du quart précédent, responsable de la planification des activités, ingénieur chargé de la conception d'un système,...). Au total, il est souvent nécessaire d'interviewer plus d'une dizaine de personnes (notamment s'il est nécessaire de recouper certaines informations). On peut noter que 370 personnes ont été interviewées dans le cadre de l'analyse de l'explosion de la raffinerie de BP Texas City du 23 mars 2005 par le Chemical Safety and Hazard Investigation Board ¹.

5. COMMENT AIDER L'INTERVIEWE A S'EXPRIMER ?

5.1 AVERTISSEMENT : L'ACCIDENT EST UN TRAUMATISME !

L'accident, une fois survenu, est source d'une crise interne liée à l'effet de surprise, à la violence des effets, au sentiment de culpabilité, à la crainte des sanctions et à la perte de confiance. Pour les acteurs les plus immédiatement impliqués, il n'est pas rare que la survenue de l'accident crée des troubles du sommeil, des troubles attentionnels et des difficultés d'ordre relationnelles au sein de l'équipe voire au sein de sa famille.

Le traumatisme lié à la survenue de l'accident peut être à l'origine de la mise en œuvre de mécanismes psychologiques de protection ou de défense susceptibles de s'opposer au recueil de données : jeux d'acteurs, rejet de la faute, banalisation des conséquences, dissimulation, simplification ou rationalisation de la réalité... Pour ces raisons, il est essentiel de mettre en confiance l'interviewé sur la base d'un contrat de communication.

¹ U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Investigation Report - Refinery Explosion and Fire, report n°2005-04-I-TX, mars 2007

5.2 ETABLIR UN CONTRAT DE COMMUNICATION

Du point de vue de l'interviewé, l'entretien d'investigation est une situation le plus souvent exceptionnelle. L'interviewé n'a souvent qu'une vision très imprécise et lacunaire des missions de l'administration chargée du contrôle des installations. L'interviewé ne connaît pas à l'avance les questions qui vont lui être posées et la façon dont ses réponses seront interprétées, traitées et diffusées. Il s'agit par conséquent de rassurer l'interviewé sur la base d'un ensemble de principes ou contrat de communication clarifiant l'objectif et les modalités de l'entretien :

- finalité de l'entretien (description, explication, compréhension et prévention des accidents et non la recherche de responsable),
- durée de l'entretien (en général 1h30),
- entretien individuel plutôt que collectif (proposer aussi à l'interviewé de se faire accompagner),
- lieu de l'entretien (privilégier les lieux familiers de l'interviewé à l'écart d'autres intervenants ou hiérarchiques),
- volontariat de l'interviewé,
- respect de l'anonymat des propos recueillis,
- absence de jugement de valeur,
- prise de note et utilisation d'un enregistreur,
- exploitation des données et retours auprès de l'interviewé.

Le contenu de ce contrat de communication doit être adapté aux enjeux de l'analyse : technique, administratif, judiciaire...Ce contrat pourra être diffusé auprès des personnes concernées par les entretiens suffisamment tôt pour leur permettre de décider, le plus librement possible, de leur participation à l'entretien. En outre, les conditions de l'entretien pourront être rappelées succinctement, à l'oral, le jour de l'entretien.

5.3 PRINCIPES ET ASTUCES

- Commencer l'interview par des questions faciles pour mettre à l'aise l'interviewé et permettant de mieux le connaître : quelle est son ancienneté au poste, sa formation initiale, ses responsabilités, ses relations avec les autres...
- Privilégier les questions ouvertes au début de l'entretien telles que « que s'est-il passé ? ». Cette question offre à l'interviewé le choix de la description des faits, mettant par la même occasion à l'aise l'interviewé.
- Dédramatiser l'accident : aborder l'issue favorable de l'accident, les bonnes décisions prises, les bons réflexes qui ont permis de limiter les conséquences de celui-ci.
- Utiliser des supports concrets mis en œuvre lors de l'accident : procédures renseignées, cahier de quart, cahier de relève, enregistrements, schémas de l'installation... Ces éléments concrets faciliteront le rappel en mémoire.
- Montrer à l'interviewé l'attention que vous accordez à son discours en acquiesçant régulièrement ou reprenant ses propres mots.

- Relancer l'interviewé en reprenant ses propos : « vous disiez tout l'heure... » et reformuler les informations recueillies « si j'ai bien compris... ».
- Apprendre à se taire et accepter certains silences qui sont aussi l'occasion pour l'interviewé d'approfondir sa réflexion et ses efforts de rappel en mémoire.
- A la fin, reprendre les éléments importants de l'entretien pour les valider et demander si quelque chose a été oublié ; puis poser le stylo : c'est souvent un moment où l'interlocuteur peut « se confier » plus facilement.

Représentation graphique de la chronologie

La reconstitution et l'enregistrement de la chronologie sont des étapes essentielles d'une analyse d'accident et en particulier de la recherche des causes que ce soit pour les événements proches ou plus lointains.

La chronologie pourra aussi intégrer le cas échéant les interventions en situation d'urgence, la gestion et sortie de crise, la surveillance, la remise en état de l'installation ou du site, la dépollution, jusqu'au redémarrage des installations.

L'un des enjeux prioritaire reste habituellement de déterminer précisément l'enchaînement des faits ayant conduit à l'accident et à ses conséquences. Cette étape est progressive et comporte de nombreuses itérations avec la collecte des données sur le terrain et les phases d'analyse.

Un objectif sous-jacent est d'organiser, au sein d'une équipe d'investigation, un partage explicite sur les faits, mais aussi de structurer la recherche des informations concernant les chaînons manquants.

Etablir une chronologie dans des cas simples :

Pour des cas simples (nombre d'acteurs impliqués limités, installations simple et localisée,...), ou au démarrage de l'investigation, le premier objectif va être de représenter dans des tableaux chronologiques ou sur une ligne de temps, l'occurrence des événements, leur nature (physique, chimique, informationnelle de type action, décision) et leur durée.

Pour des événements simples, comportant peu de ramifications, il arrive que ces outils classiques suffisent à représenter clairement l'enchaînement des principaux événements.

Le tableau chronologie ou la ligne de temps va s'enrichir au fur et à mesure de l'enquête dès que de nouvelles informations deviennent disponibles. D'autre part des incohérences ou des vides ou manques d'information devraient apparaître ce qui motivera des questionnements et de nouvelles collectes de données.

Etablir une chronologie dans des cas plus compliqués :

Cependant des événements, avec de multiples acteurs, décisions, échanges d'informations et comportant de nombreuses opérations à plusieurs niveaux d'un procédé plus compliqué, qui se combinent dans l'occurrence d'événements intermédiaires de la séquence accidentelle, posent inévitablement des problèmes d'analyse et de représentation.

Les informations n'ont pas toutes les mêmes degrés de précision sur le plan chronologique. Certaines sont très précises et sont des événements (ex. à telle heure l'équipement est tombé en panne). D'autres sont imprécises par manque d'information (ex. autour de midi...). D'autres informations ne sont pas des événements ou actions mais sont **des conditions** avec une « durée d'exécution » plus longue comme des **défauts latents** (ex. matériel corrodé, la fatigue...). Ces différentes informations peuvent figurer dans le tableau chronologique, par exemple

dans une seconde colonne, mais petit à petit se pose la question de leurs liens de causalité.

Ainsi, déterminer les conditions d'occurrence de la défaillance ou de l'événement permet, entre autres, de combler le fossé entre la collecte des faits, la détermination de l'enchaînement des événements et la recherche des causes profondes. En effet, l'étude des accidents a montré que ces derniers ne surviennent par hasard ou sans indices avant-coureurs de défauts latents du système sociotechnique.

De fait, des outils de second ordre ont été développés pour permettre de structurer les données collectées **en ajoutant à la dimension chronologique une dimension causale.**

D'autre part, ces outils **ajoutent une dimension graphique par l'utilisation de liens causaux** et préparent les analyses des causes directes (par arbres des causes, nœud-papillon) et plus profondes (ex. MORT).

On pourra citer les méthodes comme :

- le diagramme d'Ishikawa ou le diagramme en arêtes de poisson (Diagramme de causes et effets pour la gestion de la qualité, en lien avec la méthode 5M et plus...),
- la méthode MES : Multilinear Events Sequencing développée dans les années 70 par le NTSB ; depuis L. Benner a développé certains outils pour la méthode MES (<http://www.starlinesw.com/index.shtml>).
- la méthode STEP : Sequential Timed Events Plotting (Hendrick and Benner, 1987),
- la méthode ECF A : Events and Causal Factors Analysis (Clark and Buys, 1995), avec une déclinaison plus récente, la méthode ECFA+ par la NRI Foundation (www.nri.eu.com). Cette dernière a 2 avantages : elle est disponible dans le domaine public et son utilisation est en lien avec la méthode MORT (utilisée en référence dans ce mémento pour l'analyse des causes profondes en lien avec le SGS, c.f. fiche pratique n°1).

Les bénéfices attendus de l'usage de ce type de méthodes

Au niveau de l'investigation, les avantages sont :

- De fournir une approche méthodique,
- De résumer les événements sous la forme d'un diagramme qui fournit une aide à l'identification des faits, des facteurs causaux et des manques d'informations,
- Le fait que de multiples causes conduisent à l'accident est clairement illustré,
- Le diagramme permet à chaque investigateur de visualiser, évaluer et valider la séquence des événements dans le temps, ainsi que les relations entre les événements et leurs conditions d'occurrence ; ceci peut se faire en s'appuyant sur d'autres résultats d'analyse,
- En permettant le lien entre les événements proches (causes directes) et les conditions d'occurrence, les relations avec les activités de gestion des risques et l'organisation sont plus faciles à établir (sous forme d'hypothèses dans un premier temps),

Mémento technique - Enquête accident - Fiche pratique G - Représentation graphique de la chronologie

- S'il y a des défauts et des insuffisances d'information, le besoin d'une nouvelle collecte de données est facile à identifier,

Sur le plan de l'identification des actions correctives :

- Le diagramme fournit une explication causale de l'incident,
- Les recommandations peuvent être évaluées au regard de l'enchaînement logique et causal des événements,
- Les diagrammes fournissent un moyen pour vérifier l'élaboration des conclusions au fur et à mesure que des faits sont mis à jour.
- Il est attendu que les diagrammes préviennent le développement de conclusions inadéquates en révélant les défauts ou les insuffisances de l'enchaînement logique des événements,
- Les domaines de responsabilité sont clairement identifiés.

Pour la formalisation dans un rapport :

- Le diagramme résumé peut être utilisé dans les rapports pour présenter au lecteur une représentation concise de l'incident,
- Il est attendu qu'un diagramme soit (parfois) plus clair que du texte et permette une meilleure interprétation (exemple de représentation graphique : chronologie d'un accident page 7)

Principes généraux de la méthode ECFA+

La méthode ECFA+ (et ECFA) :

- Elle a pour objectif de réduire une collecte d'événements et de circonstances, en un agencement ordonné en utilisant la dimension temporelle chronologique et les relations causes-effets entre événements potentiellement successifs.
- Elle permet ainsi d'évaluer la relation cause-effet entre événements avec une grille temporelle.
- La représentation graphique obtenue permet de présenter sur des branches parallèles les « **événements** » et leurs « **conditions** » **d'occurrence**.
- Les diagrammes séquentiels obtenus sont parfois appelés des graphiques causaux.
- Cette méthode n'identifie pas en tant que telles les causes profondes mais contribue à leur identification par le lien qu'elles ont avec des méthodes adaptées (cf MORT) et par l'analyse des origines de certains événements ou conditions.
- Elle recommande une **boîte à outil simple et accessible (des post-it de couleurs différentes)** pour distinguer des classes et natures d'information (événements, conditions, questions et informations manquantes)

Définition des critères pour la description d'un « événement »

La tâche principale (ECFA+) est **d'identifier les changements sur une activité** et de le décrire en phrases simples appelées « événements ». 3 attributs essentiels (**acteur + action + objet**) sont nécessaires à la description de l'événement :

- L'acteur qui effectue le changement : ex. Mr Untel,
- L'action de l'acteur ou de l'objet : ex. tourne,
- Ce qui est changé : l'objet : une vanne.

Une fois visible, ces attributs fournissent un cadre à l'analyse : dans chaque cas, ils doivent être identifiés, reliés à des faits et expliqués.

A titre complémentaire, d'autres critères peuvent être mentionnés :

- Un événement décrit une action et non une condition,
- **Il est actif (voie active)** : ex. la grue frappe le mur ; Cette convention est prise par opposition à la forme passive où l'objet reçoit l'action ; ceci permet de décrire clairement l'identité de l'acteur notamment si on ne la connaît pas,
- **Le verbe est transitif**, car un verbe transitif à un objet (ex. Untel ouvre la porte) ; Cette convention permet de décrire ce que fait le verbe pour l'objet comme ce que fait la voie active pour l'acteur. Il y a des exceptions mais l'enjeu principal reste de décrire clairement ce qui agit, comment et sur quoi.
- Il est **conjugué au temps présent**, ce qui permet de le distinguer d'un état et réduit l'ambiguïté.
- Les occurrences doivent être précisément décrites,
- Les événements doivent décrire une action discrète, isolée ou singulière,
- Les événements devraient être quantifiés si possible, (ex. l'opérateur tombe de 26 m et non l'opérateur tombe de la plateforme),
- Des événements devraient se répartir entre le début et la fin de la séquence accidentelle
- Chaque événement devrait se déduire du précédent.

Définition des critères pour la description d'une « condition »

En cherchant des explications aux événements, l'investigation débouche sur des « conditions » qui si elles avaient été différentes auraient entraîné un déroulement différent des événements.

Elles ne sont intégrées à l'analyse que si elles sont nécessaires à l'explication d'événements dans le travail d'ordonnancement des événements. Ainsi, l'approche est économique.

Ces conditions premières à l'occurrence de certains événements sont alors incluses dans le graphique et pourront être reliées à des événements secondaires et à de nouvelles conditions qui les expliquent.

- Les conditions décrivent un état ou des circonstances plutôt qu'une occurrence ou un événement,
- Les conditions persistent à moins que l'on agisse dessus,
- Ainsi la notion de durée les caractérise,
- Contrairement à l'événement qui est actif, les conditions sont passives : ex : du brouillard dans la zone,
- Elles devraient être quantifiées si possible,
- Elles devraient indiquer la date et l'heure si cela est possible,
- Elles sont associées à l'événement correspondant.
- Des états subjectifs d'acteurs sont mieux décrits par des conditions que des événements (ex. Mr Untel considère de devoir demander de l'aide).

Remarques sur les critères de description d'un « non-événement »

Une condition particulière est le **non-événement** : c'est-à-dire un événement dont l'occurrence serait attendue au regard des circonstances mais qui n'est pas survenu à l'occasion en question.

Par exemple, si un acteur ne réalise pas une action qu'il est supposé réaliser selon la procédure, le non-événement sera probablement identifié comme une part significative de l'explication des conséquences observées.

Il y a 2 raisons pour lesquelles les non-événements sont traités comme des conditions :

- La première est que les non-événements sont passifs contrairement aux événements qui sont actifs,
- La seconde, est qu'il est demandé une justification et les bases du jugement (une procédure, une coutume, une pratique, une théorie) ce qui permet leur débat.

Les faits et les justifications

A la fin de l'analyse, chaque événement et chaque condition dans le graphique devrait être supporté par :

- Des faits adaptés ou le manque de faits,
- Expliqués par d'autres événements et des conditions dans le graphique, ou nécessitant clairement des informations complémentaires.

Cette explication doit être nécessaire et suffisante (comme pour les arbres des causes) :

- Suffisante : pour un événement particulier, si l'événement survient au moment et quand les conditions existent, alors l'événement à expliquer surviendra toujours,
- Nécessaire : si une des conditions ou un des événements était absent, alors l'événement à expliquer ne surviendrait pas.

Suggestions matérielles pour débiter le recensement des événements, conditions et informations manquantes

- A partir des données et faits collectés sur le terrain et lors des entretiens, il est suggéré de faire un travail collectif (ou brainstorming) d'identification des événements, des conditions et des questions ou des informations manquantes,
- Ces informations vont être écrites sur **des post-its de couleurs différentes, avec des informations obligatoires**, par exemple :
 - Jaune pour les événements : description de l'événement, commentaires, date et heure, faits justificatifs,
 - En Rose pour les conditions : description de la condition, commentaires, date et heure, faits justificatifs
 - En bleu pour les questions qui permettent de garder présent et visible les doutes, les manques d'information à combler qui sont précisées par la question écrite.

- **Ces post-its seront placés et déplacés afin d'obtenir un ordre chronologique et logique sur les murs de la salle de réunion,**
- En effet l'ordre exact n'est pas connu parfaitement au départ et l'usage de post-it permet de les déplacer simplement.
- **La ligne primaire de séquence des événements est à construire en priorité.**
- **Les lignes d'événements secondaires sont rattachées à certains événements de la ligne primaire.**
- Il est utile au début de distinguer les lignes d'action de différents acteurs,
- A la fin, ils sont replacés sur une feuille de papier géante afin de pouvoir y tracer les liens logiques de causalité.
- **Ces liens logiques sont à tester** : flèches et traits continus entre événements dont les liens causaux sont prouvés, pointillés entre conditions et événements, ou si ces liens entre événements ne sont pas prouvés pour l'instant...
- Il est possible que l'ensemble couvre plusieurs murs ; auquel cas une description informatique peut être pertinente. D'autre part pour la rédaction finale du rapport, il sera simplifié.

Où, quand et comment débiter et terminer le graphique ?

La construction du graphique devrait commencer immédiatement c'est-à-dire dès la collecte initiale des données avec les premières analyses. Le premier résultat ne sera qu'un squelette de base qui sera complété de manière itérative par l'analyse et la collecte des données complémentaires. Il doit être mis à jour régulièrement.

Il est conseillé de démarrer par la fin du graphique - à savoir par les conséquences de l'accident et de remonter dans le temps afin de progressivement mettre à jour les causes et le déroulement des événements.

La fin du graphique peut-être vue comme les actions qui permettent de reprendre le contrôle de la situation et d'arrêter la dégradation de la situation. Autrement, l'analyse peut s'étendre jusqu'à ce que les conséquences soient réparées.

Le début du graphique, qui répond à la question « jusqu'où faut-il remonter dans le temps ? » dépend de la volonté et des enjeux de l'investigation à savoir la séquence primaire ou la séquence secondaire.

- **La séquence primaire** est proche dans le temps (minutes, heures, jours) des conséquences et s'apparente aux causes directes (défaillances techniques, actions humaines).
- **La séquence secondaire** vise à expliquer les origines des conditions. Auquel cas il peut être nécessaire de revenir à des décisions ou défauts latents (ex. problème de conception) qui remontent à plusieurs années.

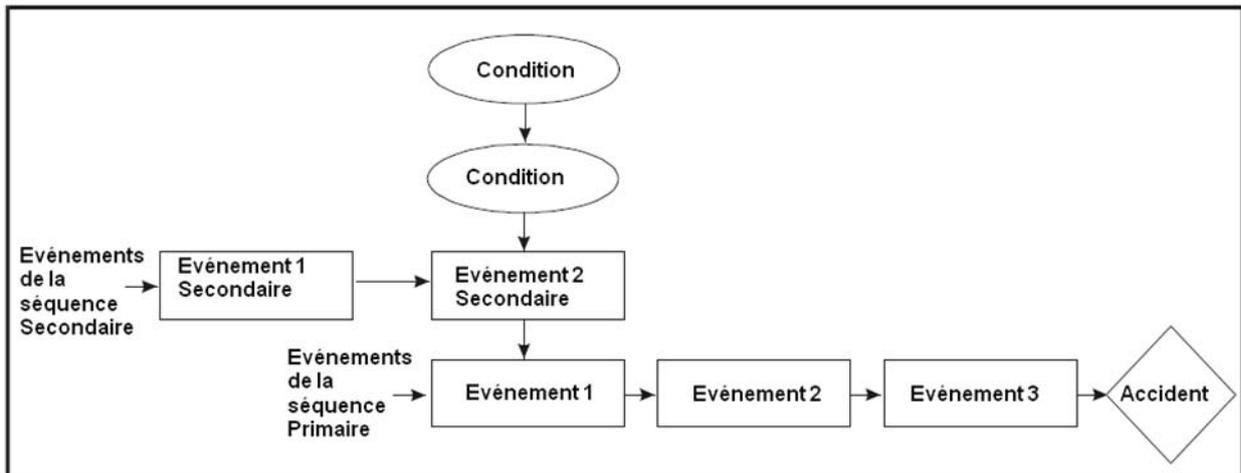
Principes de représentation symbolique pour l'établissement du graphique

- Les « événements » sont dans des rectangles.
- Les « conditions » dans des ovales.
- Les événements sont connectés par des flèches (en trait plein) qui expriment la cause.

Mémento technique - Enquête accident - Fiche pratique G - Représentation graphique de la chronologie

- Si plusieurs flèches arrivent au même événement, il s'agit de l'équivalent d'une porte ET dans les arbres des causes.
- Tous les événements ou conditions doivent être validés sur la base de faits et **sinon les rectangles et ovales doivent être affichés en pointillés.**
- **La séquence primaire des événements est décrite sur une ligne droite en gras.**
- **Le temps s'écoule de gauche à droite.**

Exemple de représentation graphique d'une chronologie d'accident



Les étapes et questions clés pour construire le graphique

En commençant par le point final de l'accident, et afin d'initier la remontée de l'enchaînement des événements dans le temps, il est nécessaire :

- De se poser la question : « Que s'est-il passé juste avant cet événement, en l'occurrence le point final »,
- La réponse qui vient doit être écrite sur le post-it de manière à distinguer s'il s'agit d'un événement ou d'une condition :
 - L'événement est-il décrit au temps présent ?
 - L'événement est-il décrit dans la forme : acteur + action + objet ?
 - L'événement est-il d'une faible durée ?
 - Les faits le justifiant sont-ils décrits ?
 - La date et l'heure sont-elles précisées ?
 - Si la condition est un non-événement, est-ce que le critère de jugement (standard de référence) est précisé ?
- Cet événement, ou cette condition, qu'il soit supporté par des faits ou qu'il soit une hypothèse doit être testé :
 - « Est-ce que cet événement ou condition entraîne toujours l'événement suivant (dans ce cas le point final de l'accident) ? »
 - « N'y a-t-il pas d'autres conditions nécessaires à l'occurrence de cet événement ? »
 - « Est-ce qu'il y aurait du ou pu y avoir des mesures de préventions qui auraient pu prévenir cet événement ? »

Mémento technique - Enquête accident - Fiche pratique G - Représentation graphique de la chronologie

- Si l'événement ne peut être expliqué par un événement où les conditions présentes, alors il convient de réfléchir aux conditions ou autres événements nécessaires à son occurrence ; s'il n'y a pas de faits, alors un post-it avec la question ou l'incertitude ; il n'est pas nécessaire d'y répondre immédiatement ; il convient de poursuivre dans la première itération du graphique.
- Le cas échéant, les flèches peuvent être dessinées.

Un exemple :

Le rapport de l'analyse d'accident survenu à Billy-Berclaus sur le site internet www.ineris.fr illustre un développement d'ECFA.

Réalisation et analyse d'un arbre des causes et d'un nœud-papillon

Introduction et contexte d'utilisation de ces méthodes

Les méthodes suivantes sont à employer dans la phase de formulation des hypothèses quant aux causes de l'accident. Cette phase suit la collecte initiale des données et des faits (relatifs aux conséquences, à la chronologie et aux premières informations sur les circonstances de l'accident).

De manière générale, cette phase de formulation d'hypothèses sert à structurer :

- Les faits connus et résultats,
- Les informations inconnues qui nécessiteraient de futures collectes de données et analyses.

Cette phase vise essentiellement à clarifier :

- ce qui s'est passé,
- dans quelles circonstances,
- et in fine répondre à la question pourquoi ?

Les outils de formulation d'hypothèses ou scénarios de type arbre des causes et nœud-papillon s'intéressent aux causes dites directes et donc essentiellement aux 2 premiers points.

Ils permettent d'établir plusieurs scénarios (combinaisons d'événements ou causes) qui pourraient avoir causés l'accident. La plausibilité des scénarios sera évaluée après coup au regard des faits et analyses.

Pour mémoire, les faits sont essentiellement des actions, des états, des observations par opposition aux opinions, jugements et interprétations (qui seront utiles pour comprendre certaines rationalités sous-jacentes à certaines actions, interprétations et donc pour comprendre l'accident).

Principes de réalisation d'un ARBRE DES CAUSES

Principes clés

L'analyse d'accident par arbre des causes repose sur les principes clés suivants :

- Identification des causes directes,
- Méthode déductive partant d'un événement final (accident, presque accident),
- Décomposition des faits en événements élémentaires, indépendants,
- Evaluation des articulations logiques entre les événements et combinaison d'événements,
- Fourniture d'une représentation graphique,
- Préparation de la formulation du scénario le plus plausible en fournissant des causes nécessaires et suffisantes à confirmer ou écarter.

Principes généraux

L'analyse par arbre des causes pour les incidents, presque accidents ou accidents est le pendant de l'analyse par arbre des défaillances utilisé en démarche d'analyse a priori des risques (voir OMEGA 7 de l'INERIS, www.ineris.fr).

Il s'agit d'une **méthode déductive** qui à partir d'un événement redouté, d'une conséquence ou d'un accident vise à déterminer les enchaînements ou **combinaisons logiques d'événements** ayant pu conduire finalement à l'accident. Elle s'attache à **déterminer les causes directes** (défaillances d'équipements, actions humaines) par opposition aux causes profondes (plus organisationnelles et sociétales). Elle permet de remonter de causes en causes jusqu'aux événements de bases susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté (presque accident) ou de l'accident.

Les événements de base correspondent généralement à des :

- événements élémentaires qui sont généralement suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes.
- événements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les causes ne seront pas développées faute d'intérêt ;
- événements dont les causes seront développées ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple ;
- événements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.

Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des causes est fondée sur les principes suivants :

- ces événements sont indépendants ;
- ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible ;

Les liens entre les différents événements identifiés sont réalisés grâce à des **portes logiques** (de type « ET » et « OU » par exemple). Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente. Le lecteur peut, par exemple se reporter aux conventions de présentation proposées dans la norme CEI 61025 :1990 « Analyse par Arbre de Panne (APP) ».

L'analyse par arbre des causes d'un accident ou presque accident (événement redouté) peut se décomposer en **trois étapes successives** :

- définition de l'accident ou événement redouté étudié,
- élaboration de l'arbre des causes,
- évaluation de la plausibilité des causes (suppression ou conservation de branches) en vue de définir le (et par défaut les) scénario(s) le(s) plus probable(s).

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système et de connaissance préalable des risques.

Démarrage de l'arbre des causes à partir de l'événement final ou redouté (accident ou presque accident)

La définition de l'événement final ou redouté, qui fera l'objet de l'analyse, est une étape cruciale pour la construction de l'arbre. On conçoit que plus cet événement est défini de manière précise, plus simple sera l'élaboration de l'arbre des causes.

De manière classique, les événements finaux considérés peuvent concerner des phénomènes dangereux ou des événements redoutés centraux comme la perte de confinement, le rejet à l'atmosphère de produits toxiques ou inflammables, l'incendie, l'explosion... Parfois il s'agit de l'accident avec le croisement des dimensions relatives à l'intensité et la cinétique des phénomènes dangereux et à la vulnérabilité des enjeux.

A partir de cet événement final, il est nécessaire de **rechercher les causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS)**. En d'autre terme, il convient de **se poser les questions suivantes** :

- **Quelle(s) cause(s) ou événement(s) a-t-il fallu pour obtenir cette conséquence ?**
- **Est-ce que cette cause est suffisante pour provoquer cette conséquence ?**

Exemple :

En cas d'explosion dans un procédé, les phénomènes d'explosion possible sont liés à une explosion de gaz, de pulvérulents, de matière explosive ou à une surpression. L'explosion du procédé sera donc précédée de quatre branches avec une porte logique OU. **Pour chaque phénomène, les connaissances des risques seront intégrées pour identifier les conditions immédiates, nécessaires et suffisantes** (ex. hexagone de l'explosion, triangle du feu...). Auquel cas les différentes conditions identifiées, seront regroupées par une porte ET. Elles fourniront des événements intermédiaires à analyser selon ce principe (INS) et ainsi de suite.

La recherche systématique des causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS) est donc à la base de la construction de l'arbre.

Remarques :

Il s'agit probablement de l'étape la plus délicate et il est souvent utile de procéder à cette construction au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire. De plus, la mise en œuvre préalable d'autres méthodes d'analyse des risques de type inductif facilite grandement la recherche des défaillances pour l'élaboration de l'arbre, en particulier en cas de système complexe.

Afin de sélectionner les événements intermédiaires, il est indispensable de procéder pas à pas en prenant garde à bien identifier les causes directes et immédiates de l'événement considéré et se poser la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes. Faute de quoi, l'arbre obtenu pourra être partiellement incomplet voire erroné.

Démarche d'élaboration de l'arbre des causes :

Un schéma décrivant l'enchaînement des étapes logiques est joint page suivante.

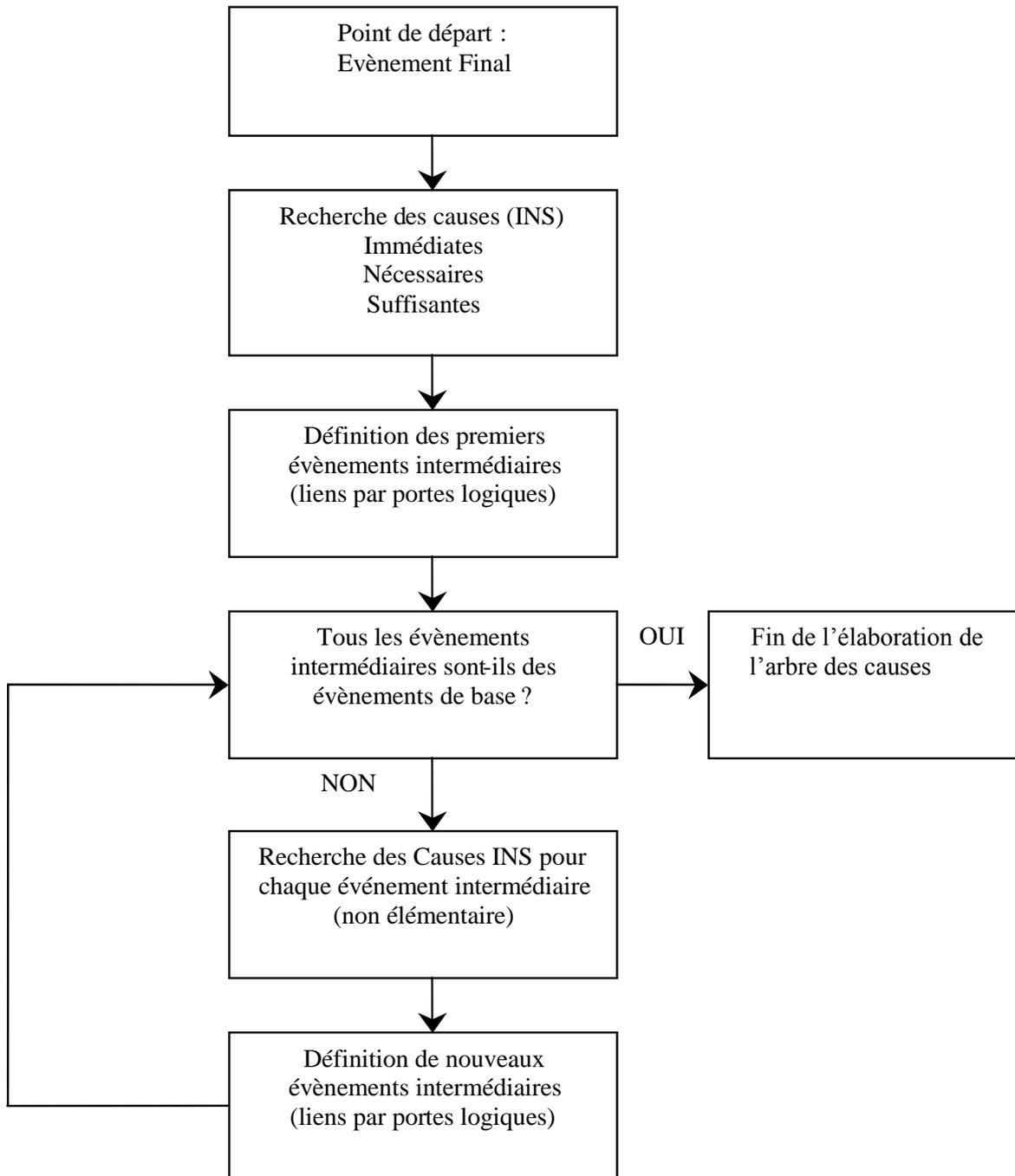


Figure 1 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des causes

En suivant cette démarche on obtient un **arbre des causes détaillé** utile à l'analyse et à la recherche d'informations. A la fin du processus d'analyse, il est possible de ne conserver que les causes confirmées dans une **représentation simplifiée** qui traduit le scénario le plus probable.

Règles à vérifier

Enfin, il est nécessaire de respecter certaines règles supplémentaires à observer durant la construction de l'arbre à savoir :

- vérifier que le scénario décrit par un réseau causal est cohérent avec le système à l'origine de l'accident, c'est-à-dire que :
 - la défaillance de tous les composants (causes) entraîne la défaillance du système et l'occurrence du scénario,
 - le bon fonctionnement de tous ses composants entraîne le bon fonctionnement du système/procédé/opération,
 - lorsque le système est en panne, le fait de considérer une nouvelle défaillance ne rétablit pas le fonctionnement du système,
 - lorsque le système fonctionne correctement, la suppression d'une défaillance ne provoque pas la défaillance du système.
Il peut en effet arriver qu'une défaillance survenant sur un composant annule les effets d'une défaillance antérieure et permette ainsi le fonctionnement du système. Dans un tel cas de figure (système non cohérent), le deuxième composant doit être supposé, dans l'analyse, en fonctionnement lorsque la première défaillance survient.
- s'assurer que tous les événements d'entrée d'une porte logique ont bien été identifiés avant d'analyser leurs causes respectives,
- éviter de connecter directement deux portes logiques,
- ne sélectionner que les causes antérieures à l'existence de l'événement considéré.

Un exemple avec une représentation graphique est présenté en commun avec l'approche par nœud-papillon afin de visualiser les similitudes et différences.

Principes de réalisation d'un NŒUD-PAPILLON

Principes clés

L'analyse d'accident par le nœud-papillon repose sur les principes clés suivants :

- Identification des causes directes,
- Méthode déductive partant d'un événement final (accident, presque accident),
- Décomposition des faits en événements élémentaires, indépendants, et en action ou absence d'action des barrières de sécurité,
- Evaluation des articulations logiques entre les événements, les barrières de sécurité et combinaison d'événements,
- Fourniture d'une représentation graphique,
- Préparation de la formulation du scénario le plus plausible en fournissant des causes nécessaires et suffisantes à confirmer ou écarter.

Principes généraux

Le nœud papillon est un outil qui combine un arbre de défaillances et un arbre d'événements représentés de façon un peu différente de celle décrite dans les paragraphes précédents.

La figure suivante en donne une représentation schématique sous la forme suivante où les barrières sont figurées par des barres verticales.

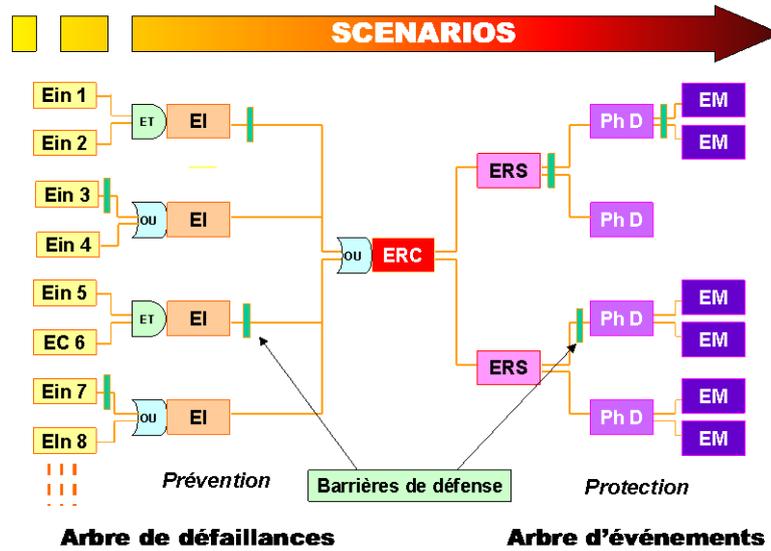


Figure 2 : Représentation de scénarios d'accident selon le modèle du nœud papillon

Tableau n°1 : Légende des événements figurant sur le modèle du nœud papillon

Désignation	Signification	Définition	Exemples
Ein	Événement Indésirable	Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies.	Le surremplissage ou un départ d'incendie à proximité d'un équipement dangereux peuvent être des événements initiateurs
EC	Événement Courant	Évènement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.	Les actions de test, de maintenance ou la fatigue d'équipements sont généralement des événements courants.
EI	Événement Initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.	La corrosion, l'érosion, les agressions mécaniques, une montée en pression sont généralement des événements initiateurs
ERC	Événement Redouté Central	Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse	Rupture, Brèche, Ruine ou Décomposition d'une substance dangereuse dans le cas d'une perte d'intégrité physique
ERS	Événement Redouté Secondaire	Conséquence directe de l'événement redouté central, l'évènement redouté secondaire caractérise le terme source de l'accident	Formation d'une flaque ou d'un nuage lors d'un rejet d'une substance diphasique
Ph D	Phénomène Dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs	Incendie, Explosion, Dispersion d'un nuage toxique
EM	Effets Majeurs	Dommages occasionnés au niveau des éléments vulnérables (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un phénomène dangereux	Effets létaux ou irréversibles sur la population Synergies d'accident
Barrières ou Mesures de Prévention		Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de confinement ou d'intégrité physique	Peinture anti-corrosion, Coupure automatique des opérations de dépotage sur détection d'un niveau très haut...
Barrières ou Mesures de Protection		Barrières ou mesures visant à limite les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique	Vannes de sectionnement automatiques asservies à une détection (gaz, pression, débit), Moyens d'intervention...

Le point central du Nœud Papillon, appelé ici Événement Redouté Central, désigne généralement une perte de confinement ou une perte d'intégrité physique (décomposition). La partie gauche du Nœud Papillon s'apparente alors à un arbre des causes/défaillances s'attachant à identifier les causes de cette perte de confinement. La partie droite du Nœud Papillon s'attache quant à elle à déterminer les conséquences de cet événement redouté central tout comme le ferait un arbre d'événements. Sur le schéma, les barrières de sécurité sont représentées sous la forme de barres verticales pour symboliser le fait qu'elles s'opposent au développement d'un scénario d'accident.

En pratique, ajouter une barrière dans l'arbre des causes correspond à ajouter un événement « défaillance de la barrière » lié par une porte ET à l'événement qui la précède. A l'inverse, la transformation d'un arbre des causes en nœud-papillon induit la transformation de certaines causes en barrières et à la suppression de certaines branches.

De fait, dans cette représentation, chaque chemin conduisant d'une défaillance d'origine (**événements indésirable ou courant**) jusqu'à l'apparition de dommages au niveau des **éléments vulnérables (effets majeurs)** désigne un scénario d'accident particulier pour un même événement redouté central.

Déroulement et intérêts

Le Nœud Papillon, s'inspirant directement des arbres des causes/défaillances et d'événements, doit être élaboré avec les mêmes précautions. Sa réalisation est facilitée par la connaissance des risques des installations voire le déroulement de démarches d'analyse a priori des risques pour alimenter les réflexions.

Le Nœud Papillon 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.

Conclusion : cet outil permet d'apporter une démonstration renforcée de la bonne marche ou de la défaillance des mesures de maîtrise des risques en présentant clairement l'action ou l'absence d'action de barrières de sécurité sur le déroulement de la séquence accidentelle. Cette représentation semble intéressante pour lier le scénario d'accident à prévenir avec l'organisation censée maintenir les barrières de sécurité. Auquel cas les défaillances des barrières techniques et erreurs humaines sont les points de départ pour analyser les défaillances du management de la sécurité.

Lien avec les actions correctives

Que ce soit pour l'analyse par arbre des causes et celle par nœud-papillon, ces méthodes fournissent des indications quant aux causes (événements indésirables, intermédiaires, redoutés) et conséquences redoutées dont il faut prévenir l'occurrence ou s'en protéger.

De cette démarche, des actions correctives sont identifiées visant à supprimer ces causes par révision de la conception du système ou ayant pour effet de réduire la fréquence d'occurrence de ces causes ou leur gravité pendant l'exploitation.

L'ajout de fonctions et barrières de sécurité est envisagé à ce stade et peut être facilement visualisé sur ces représentations, en particulier celle du nœud-papillon.

Exemple commun d'arbre des causes et de nœud-papillon :

Le cas d'accident (résumé des faits)

Circonstances de l'opération : une série de faits et de causes directes

Dans un atelier de fabrication de principes actifs pour la pharmacie, un opérateur transfère de l'acétone d'un réacteur (niveau 7 m) vers un autre (niveau 3 m) dont la vanne d'échantillonnage située en point bas (niveau 0 m) est restée ouverte.

Le solvant s'écoule vers un mur de l'atelier, comportant un passage non obturé de 10 cm, à l'extérieur duquel un ouvrier d'une entreprise sous-traitante effectue une découpe au chalumeau.

Un 2^{ème} opérateur constate la fuite et ferme la vanne.

Un explosimètre défaillant depuis 3 jours (problème de liaison) n'avait pas été réparé.

Une inflammation des vapeurs (événement redouté, base de l'arbre des causes) se produit à l'extérieur et le feu se propage instantanément sous le réacteur puis aux étages supérieurs par une trémie.

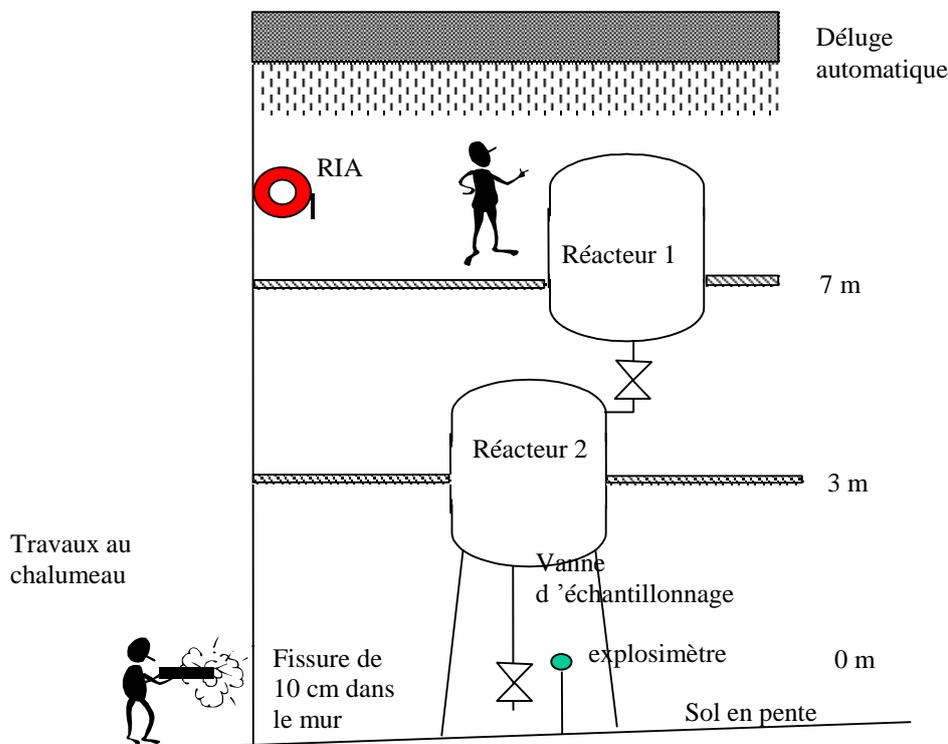


Figure 3 : Schéma de la situation d'incident tiré de la base ARIA du BARPI

Conséquences et interventions de sécurité

Un technicien sécurité déclenche la sirène POI et le repli de l'atelier. Les alimentations électriques de l'atelier sont coupées et le réseau d'évacuation des eaux détournées vers une rétention. Un agent utilise un RIA depuis le niveau 7 m et quelques minutes après le système déluge se déclenche maîtrisant puis éteignant l'incendie. L'eau est laissée en refroidissement des structures pendant une vingtaine de minutes.

Des employés, équipés de ARI, font une reconnaissance dans l'atelier permettant la levée du POI 30 min après son déclenchement.

Enseignements et barrières de sécurité

L'exploitant, après une analyse de cet accident intervenu pendant des travaux d'aménagement réalisés en période d'été, revoit les pentes d'écoulement des sols de l'atelier et modifie la procédure de travaux avec permis de feu : information des opérateurs de l'atelier, définition d'une plage horaire, interdiction d'utilisation de feu nu dans les zones à risques pendant les phases d'exploitation, mise en place de prises électriques dédiées aux entreprises extérieures asservies à la détection explosimétrique et alimentées uniquement pendant le créneau horaire du permis de feu.

L'arbre des causes

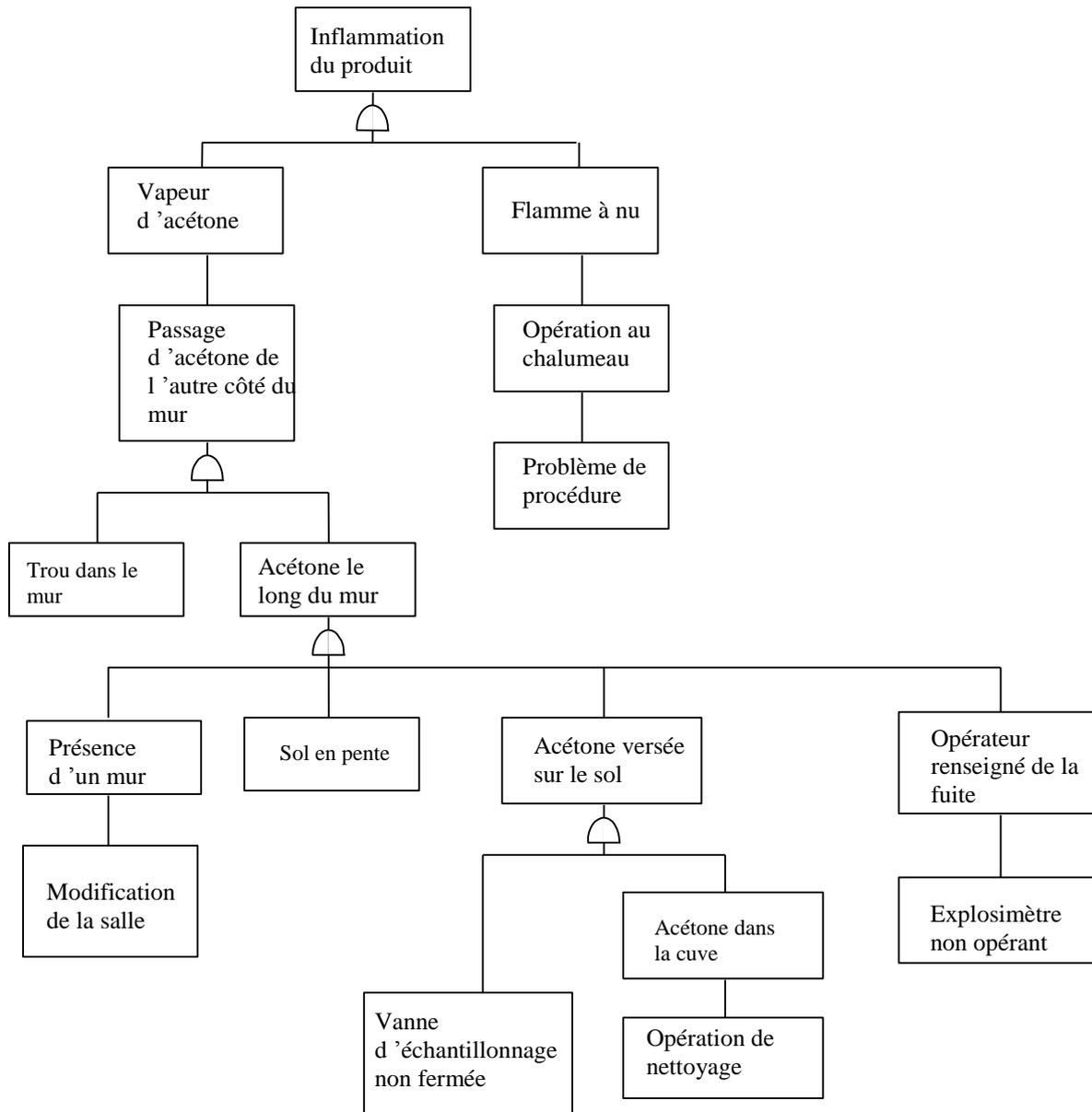


Figure 4: Arbre des causes à partir de la séquence accidentelle (résumé des faits)

Le nœud-papillon

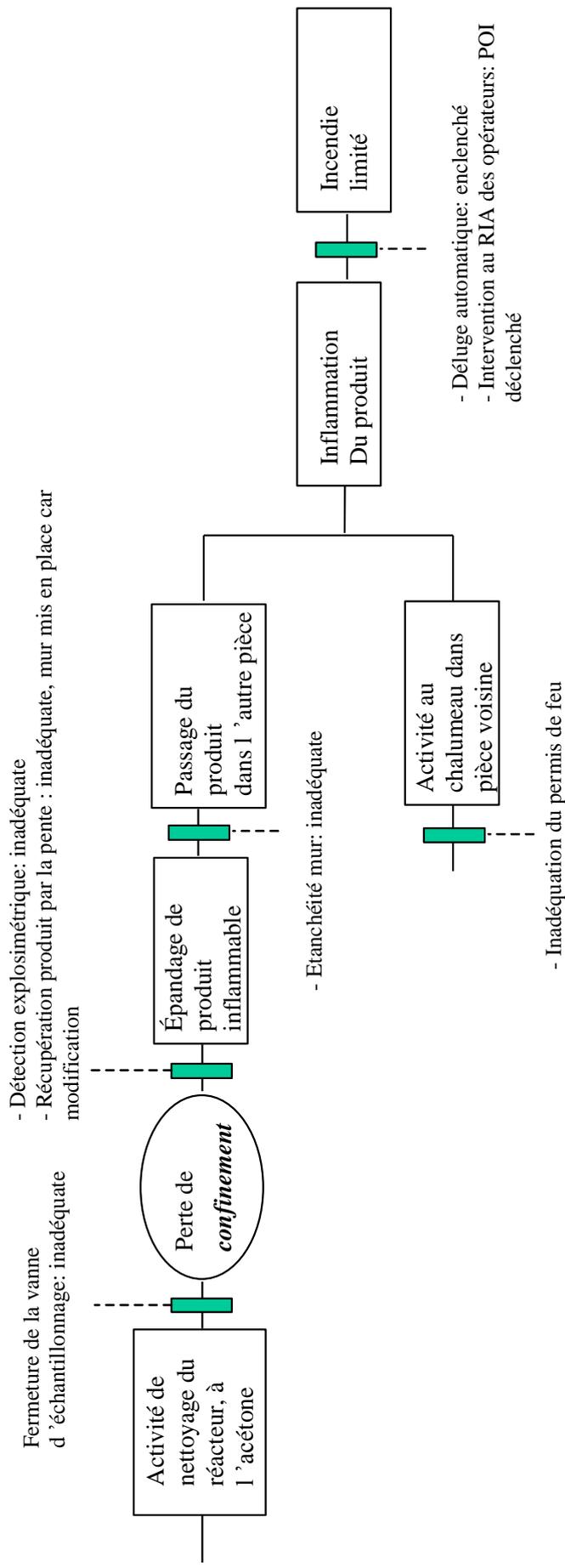


Figure 5 : Représentation de la séquence accidentelle en tenant compte des barrières prévues

(cas extrait du rapport sur le site www.ineris.fr Presque accident et risque d'accident majeur : état de l'art)

Analyse critique de l'exemple

Quelques commentaires sur l'arbre des causes

Le premier constat qu'il est possible de faire sur cet arbre des causes, est son **caractère simplifié, réduit** au scénario (le plus probable) de l'accident excluant d'autres causes potentielles. En général au début d'une analyse d'accident et de recherche des causes, l'ensemble des faits n'est pas encore connu et il reste à collecter des informations. Au stade préliminaire, en pratique un arbre des causes plus détaillé serait développé par exemple avec plusieurs sources d'inflammation (13 sources potentielles), avec plusieurs combustibles possible (présents dans le bâtiment)... Cet exercice est nécessaire pour l'analyse d'accident avant d'écarter certaines hypothèses et ne conserver que les causes les plus probables.

Cet arbre des causes détaillé (préliminaire) devrait aussi être considéré comme une source intéressante devant **alimenter les analyses de risques dans un REX élargi**. En effet, a minima les mesures correctives doivent correspondre au scénario dont il faudra prévenir la récurrence. Mais, cet événement initial doit être considéré comme une **opportunité d'apprentissage** pour remettre à jour l'analyse de risques et éventuellement révéler d'autres défauts latents dans l'analyse de risque ou dans la prévention des risques (problèmes de conception, autres barrières de sécurité à identifier). Cet événement doit être considéré par l'organisation comme l'occasion de réfléchir à d'autres configurations potentiellement accidentelles (Que ce serait-il passer si ?...).

La seconde remarque est que l'arbre des causes a comme événement final, l'inflammation de l'acétone. Un autre événement final, l'incendie limité dans le bâtiment aurait pu être pris comme base de construction de l'arbre des causes.

C'est un choix qui colle avec la philosophie des arbres des défaillances ou arbre des causes de prendre comme événement de base/final, l'événement redouté central. Dans ce cas, si l'analyse s'était limitée à ce stade, elle aurait occulté certaines conséquences et l'impact (ici positif) de certaines barrières de sécurité. Dans un tel cas, de presque accident majeur (incendie généralisé du bâtiment), il serait alors utile de procéder à une analyse des risques (par arbre d'événements ou autre) à partir de cet événement redouté afin d'identifier de nouvelles mesures de gestion des risques.

Enfin, sur cet arbre des causes, il manque l'oxygène (le comburant du phénomène d'incendie).

Quelques commentaires sur le nœud-papillon

Il s'agit là aussi d'un nœud-papillon assez simplifié (causes potentielles non pertinentes supprimées), et qui regroupe aussi certaines barrières entre 2 événements. Le nœud-papillon a l'avantage comparatif de présenter de manière assez nette le rôle et le positionnement des barrières de sécurité dans la séquence accidentelle ce qui facilite l'identification des mesures correctives.

Dans les 2 cas, l'analyse s'arrête aux causes directes (défaillances techniques, actions et erreurs humaines) et ne s'attaque pas aux causes profondes (organisationnelles et sociétales). Ce type d'analyse fournit cependant les bases de départ (les événements redoutés, les défaillances des barrières et erreurs humaines) nécessaire à l'interrogation de l'organisation censée maîtriser ce type de risques. Une des faiblesses récurrente des analyses d'accident et du processus REX dans son ensemble est de s'arrêter à ce stade.

Détermination de l'équivalent TNT à partir des dommages d'une explosion

Cette fiche vise à fournir des éléments d'information et de méthode pour la détermination, à partir des dommages observés, de l'énergie de l'explosion, de son équivalent TNT, de la masse de produit ayant réagi dans l'explosion et d'une cartographie générale des effets de l'explosion.

L'objet de ces démarches est de fournir des ordres de grandeur à partir de démarches simples et nécessitant peu de moyens de calculs. Bien que comportant de nombreuses limites, elles sont utiles à la caractérisation des effets de l'explosion et peuvent contribuer à la recherche des causes notamment par l'identification de l'origine de l'explosion et de son terme source.

1. DETERMINATION A POSTERIORI DE L'EQUIVALENT TNT A PARTIR DES DOMMAGES D'UNE EXPLOSION

Cette étape nécessite de :

1. localiser les zones endommagées,
2. repérer les dégâts typiques sur le bâti (connus dans la littérature scientifique),
3. déduire les effets de pression à partir d'interprétation et évaluation des dégâts typiques, de considération de résistance des matériaux et de propagation des ondes de pression (incidence, effets d'écrans),
4. établir l'équivalent TNT de l'explosion.

1.1 LOCALISER LES ZONES ENDOMMAGEES

Cette étape nécessite de circonscrire la zone d'effet de l'accident et d'en établir les limites à l'aide d'une cartographie. Les investigations se dérouleront dans ce périmètre et sur des points caractéristiques.

A chaque « point dommage » qui sera utilisé pour caractériser de manière singulière des effets de l'accident, il sera nécessaire de :

- le localiser dans l'espace et son environnement (ex. distance à l'épicentre, hauteur par rapport au sol, topographie),
- définir l'enjeu (le bâtiment, sa nature, ses propriétés en terme de résistance des structures),
- caractériser son exposition au phénomène d'explosion (orientation du bâtiment par rapport à l'épicentre et angle d'incidence, écrans potentiels...) puis par extension le phénomène lui-même.

Il est conseillé de démarrer des zones de faible endommagement et de progresser vers les zones à fort endommagement (vers l'épicentre de l'explosion).

1.2 RELEVER LES DOMMAGES ET REPERER LES DEGATS TYPIQUES

Dans le périmètre d'investigation, les dégâts typiques observés en un point donné sont repérés sur une carte (du site, du voisinage) et ce au moyen d'un numéro de point dégât. Une correspondance entre numéros de points dégâts, dégâts typiques et niveaux de surpression aérienne sera établie par la suite.

La liste des dégâts typiques (tirée de la littérature scientifique) que l'INERIS a utilisé sur les enquêtes à Toulouse (2001), Billy-Berclau (2003) et d'autres est présentée ci-après. Elle lie un type de dégât sur les structures (bâtiments publics et industriels) à un niveau de surpression¹.

Tableau 1 : Dégâts typiques

N°	Type de dégâts constatés	Seuil (mbar)
1	Bruit de fond (137 dB, si basse fréquence 10-15Hz)	1 à 2
2	Bris de vitre occasionnel pour des vitres fragiles c'est-à-dire de grandes vitres peu épaisses	2
3	Bruit important (143 dB), "boum" sonique avec bris de glaces	2 à 3
4	Bris de vitre de grande dimension (INRS), (baies vitrées)	5 à 10
5	5% des vitres cassées (BIT), ces vitres sont prises au hasard petites ou grandes	7 à 10
6	10% des vitres brisées et limites des petits dommages (INRS)	20
7	50% des vitres cassées (BIT)	14 à 30
8	Dégâts structurels mineurs, cloisons et éléments de menuiserie arrachés, tuiles soufflées (BIT)	30 à 60
9	Bris notables de vitres (à 70 mbar a priori presque toutes cassées, petites et grandes) et parfois dislocation des châssis (INRS)	40 à 70
10	Portes et fenêtres enfoncées (BIT)	60 à 90
11	Le toit d'un réservoir de stockage a cédé	70
12	Joints entre des tôles ondulées en acier ou en aluminium arrachés	70 à 140
13	Lézardes et cassures dans les murs légers (plâtre, fibrociment, bois, tôle) toiture en fibrociments quasiment détruite	70 à 150
14	Dommages mineurs aux structures métalliques	80 à 100
15	Fissures dans la robe d'un réservoir métallique	100 à 150
16	Limite inférieure des dégâts graves (la plupart des dégâts sont « facilement » réparables et correspondent à des tuiles projetées, des vitres cassés, des panneaux tordus, ceci étant les premières fissures dans les murs apparaissent,...)	140
17	Effondrement partiel de murs de 20cm d'épaisseur (INRS) – limite inférieure des dommages sérieux aux structures	140 à 150
18	Murs en parpaings ou en béton non armé détruits	150 à 200
19	Lézardes et cassures dans les murs béton ou parpaings non armés de 20 à 30 cm	150 à 250
20	Destruction de 50% des maisons en briques (INRS)	160 à 200
21	Maisons inhabitables, effondrement partiel ou total de la toiture, démolition d'1 ou 2 murs extérieurs, dégâts importants aux murs porteurs intérieurs (INRS)	140 à 280
22	Rupture des structures métalliques et déplacement des fondations	200
23	Rupture de réservoirs de stockage	200 à 500 /250
24	Bardage acier des bâtiments arrachés, détruits	200 à 270
25	Rupture des structures métalliques autoportées industrielles	200 à 300
26	Fissure dans des réservoirs de stockage d'hydrocarbures vides	200 à 300
27	Déformations légères sur un rack de canalisations	200 à 300

¹ Pour mémoire, 1 bar = 10⁵ Pa

28	Déplacement d'un rack de canalisations, rupture des canalisations	350 à 400
29	Maisons d'habitation détruites	350 à 500
30	Revêtement des bâtiments industriels légers soufflé	300
31	Destruction d'un rack de canalisations,	400 à 550
32	Dégâts sur une colonne de distillation	350 à 800
33	50-75% de la maçonnerie extérieure est détruite ou rendue instable (INRS)	350 à 800
34	Retournement de wagons chargés	500
35	Murs en briques, d'une épaisseur de 20 à 30 cm, détruits	500 /500 à 600
36	Déplacement d'un réservoir de stockage circulaire, rupture des canalisations connectées	500 à 1 000
37	Renversement de wagons chargés, destruction de murs en béton armé	700 à 1 000
38	La structure porteuse d'un réservoir de stockage circulaire a cédé	1 000
39	Poteaux téléphoniques abattus (INRS)	700 à 1700
40	Gros arbres abattus (INRS)	1700 à 3800

Le tableau précédent a été réalisé à partir d'une synthèse des informations reportées dans (Lannoy, 1984, Clancy, 1972, INRS, 1994, BIT, 1993) et diverses analyses d'accident (Lechaudel et al., 1995, Michaélis et al., 1995).

1.3 DEDUIRE LES EFFETS DE PRESSION A PARTIR DES DOMMAGES

Les niveaux de surpression aérienne sont déduits en tenant compte des angles d'incidence et effets d'écrans détaillés ci-après:

- soit à partir du tableau 1,
- soit à partir de considérations en matière de résistance des matériaux, ces dernières n'étant pas détaillées dans la présente fiche,

Il est recommandé pour cette phase de faire appel à des experts en explosion, en propagation des ondes de pression et en résistance des structures.

Effet de l'angle d'incidence :

Sur le plan de l'**angle d'incidence**, il convient de recenser les structures et faces ou plans de bâtiments et vitres qui forment un angle plat avec l'onde de pression. En provenance de l'épicentre, l'onde de pression doit « traverser » le plan endommagé dans le plan sur lequel un dégât typique est observé. Si l'onde de pression se heurte au plan (par exemple, orthogonalement ou avec un angle supérieur à la dizaine de degrés), alors les niveaux de pression ne peuvent être déduits directement à partir de la liste recensée dans le tableau n°1. Des précautions d'interprétation additionnelles devraient être prises et ne peuvent être détaillées dans la présente fiche.

Effets d'écrans

Pour l'analyse des dommages de l'accident de Billy-Berclau (2003, www.ineris.fr), l'INERIS, en **première approche**, s'est appuyé sur les principes et formules de la **réglementation pyrotechnique (de l'époque et abrogée depuis)** qui précisent un certain nombre de principes d'évaluation de leurs effets sur la réduction des niveaux de pression en présence d'écrans, murs, merlons (cf page suivante).

Les formules de détermination des zones dangereuses présentées ci-après étaient valables en terrain plat et sans protection particulière. L'arrêté du 26 septembre 1980 (**aujourd'hui abrogé**) prévoyait toutefois la possibilité de modifier ces zones de dangers pour tenir compte :

- de propriétés particulières de la charge explosive ;
- des conditions d'environnement de cette charge, en particulier de la présence de dispositifs de protection.

La circulaire du 8 mai 1981 (abrogée) précisait ces dispositions, et en particulier les modifications à adopter lorsque les installations pyrotechniques étaient protégées par des merlons ou des murs de protection.

Ces règles étaient valables lorsque le merlon ou le mur de protection peuvent supporter l'explosion de la charge qu'ils entourent sans percement ni déplacement ou déformation notables de leurs faces qui ne sont pas tournées vers la charge.

Dans ces conditions, dans la zone séparée de la charge par un merlon ou un mur de protection de hauteur H , la gravité des dangers dépendait de la hauteur au-dessus du sol et de la distance horizontale D où se trouve la cible de l'arête supérieure du merlon ou mur de protection la plus éloignée de la charge.

Si H dépassait d'au moins 2 m la hauteur du point le plus élevé de la charge, on pouvait admettre que, à l'intérieur d'une zone qui serait classée Z_i si le terrain était plat et sans protection, lorsque la charge est constituée de matières ou objets de la division 1.1 :

Au-dessous d'un plan P situé à la hauteur H à $D = 0$ et à la hauteur $H - 2$ m à $D = 4.H$:

- si $D \leq 2.H$, les dangers sont assimilables à ceux d'une zone Z_{i+2} ;
- si $2.H \leq D \leq 4.H$, les dangers sont assimilables à ceux d'une zone Z_{i+1} .

En dehors des volumes définis ci-dessus, l'effet de protection du merlon ou du mur de protection était considéré comme faible ou négligeable.

La figure n°1 ci-dessous résumait les règles de détermination des distances d'isolement énoncées ci-dessus.

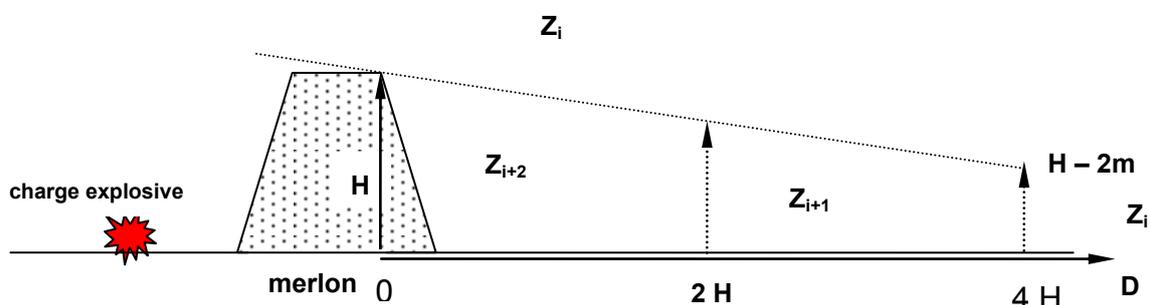


Figure n°1 : Prise en compte d'un merlon de protection sur la détermination des zones dangereuses

La présence d'un merlon assure une protection contre les effets de pression et de projection de débris directs. D'après les considérations développées ci-avant, il était possible de retenir que pour les effets de pression :

- un surclassement d'une zone (Z_i devient Z_{i+1}) correspond à une surpression de l'ordre de deux à quatre fois inférieure à celle qui serait observée en champ libre ;
- un surclassement de deux zones (Z_i devient Z_{i+2}) correspond à une surpression de l'ordre de quatre à six fois inférieure à celle qui serait observée en champ libre.

Ces règles étaient à utiliser pour corriger de l'influence des merlons ou écrans l'estimation des niveaux de surpression atteints.

Ainsi, à un endroit donné ou des dégâts typiques seraient observés malgré l'influence d'un écran, alors le niveau de surpression déduit du dégât typique serait majoré pour ce point dégât dans la perspective du calcul de l'équivalent TNT.

NB : L'exemple qui est donné celui qui a été utilisé sur un cas concret, public, à Billy-Berclau. Il est à noter que la réglementation pyrotechnique a évolué depuis et abroge les textes dont il a été fait usage. De plus, un guide professionnel de bonnes pratiques en pyrotechnie est en cours d'élaboration et propose de nouveaux principes d'évaluation des effets d'écrans sur les effets de pression qui intègrent de nouvelles connaissances. Auquel cas, il conviendra de s'y référer bien que certains principes généraux exposés ci-avant demeurent.

1.4 ETABLIR L'EQUIVALENT TNT

A partir de l'abaque TM5 – 1300 (Lannoy, 1984) pages suivantes, il est possible **pour chacun des points dégâts** (relevés sur les structures touchées par l'explosion), caractérisé par un couple de données (distance à l'épicentre, surpression aérienne estimée) **de déduire la masse de TNT** dont l'explosion aurait conduit à obtenir la surpression estimée à la distance considérée.

Exemple et application numérique : le point dommage n°1021 de l'analyse des dommages d'AZF

Un extrait du tableau des points dommages est retranscrit ci-dessous :

Tableau n°2 : extrait d'un point dommage de l'enquête de l'INERIS sur les dommages de la catastrophe d'AZF à Toulouse (2001)

Numéro de point dégât	Numéro (s) de dégât type	Surpressions associées en mbar	Localisation	Distance à l'épicentre* en mètres	Photos avec détail, vidéo	Remarques
P1021		30-50	Rue de Gironis, Local CGT en face du n°50	700	1 – 2	Bardage du toit décollé, bardage du toit en façade Est enfoncé

A partir de l'abaque TM5-1300, on obtient en première approche (à l'épaisseur du trait) les *distances réduites* (voir abaque TM5-1300) d'environ 26 m/kg^{1/3} (pour 0,050 bar) et de 45 m/kg^{1/3} (pour 0,030 bar).

La masse d'équivalent TNT est déduite par : $m = (R/\lambda)^3$

L'application numérique (avec R = 700 m) donne des équivalents TNT compris entre 3 764 et 19 515 tonnes. Dans ce cas précis, à l'aide de modèles graphiques plus précis, on a obtenu un intervalle de 4 523 tonnes à 19 636 tonnes.

Analyse statistique et agrégation

Les résultats obtenus en faisant ce travail peuvent être analysés statistiquement afin d'obtenir une estimation de la masse de TNT équivalente pour obtenir les dommages observés (et interprétés).

Il peut être réalisé des moyennes arithmétiques ou des médianes (cf rapports AZF et Billy-Berclau). En particulier, si l'interprétation des effets de pression génère des intervalles de niveau de pression (l'un par excès, l'autre par défaut), une fourchette pour l'équivalent TNT moyen sera proposée.

Dans l'estimation de la distance à l'épicentre, on prendra garde au choix de l'épicentre de l'explosion qui a ou qui aurait pu produire les dommages (cf le cas d'explosions multiples d'explosifs solides comme à Billy-Berclau, ou comme à La Mède avec de multiples épicentres lors d'une explosion gazeuse qui se propage dans des zones plus ou moins encombrées). Il en est de même pour l'agrégation d'un ensemble d'estimations.

1.5 LIMITES DE LA DEMARCHE

Pour que l'estimation de l'équivalent TNT à partir du relevé des dommages soit la **plus robuste possible**, il convient de collecter et d'interpréter le **maximum de points dommages**.

Par exemple à Toulouse, plus d'une centaine d'estimations d'équivalent TNT ont pu être réalisées. Pourtant une certaine dispersion des estimations a été relevée autour de la fourchette moyenne de 20 à 40 tonnes de TNT que l'INERIS avait retenu :

- 54 % des estimations en masse de TNT sont inférieures à 20 tonnes,
- alors que 24 % des estimations dépassent les 40 tonnes.

Ces éléments statistiques montrent la **disparité des estimations** obtenues pour les masses équivalentes de TNT. Cette disparité s'explique essentiellement à partir des difficultés d'interprétation des dommages observés.

Par ailleurs, pour AZF, comme indiqué dans le rapport de la commission d'enquête interne à TOTAL, d'autres estimations effectuées par d'autres experts. Celles-ci vont de 10 à 200 tonnes. Il est rappelé que ces estimations a posteriori comportent de **nombreuses incertitudes** (choix des dégâts typiques, influence des structures, effets directionnels, effets d'écrans, choix des modèles).

Au niveau du choix des modèles, en particulier le modèle de l'équivalent TNT avec l'**abaque TM5-1300**, des limites apparaissent. En effet, il **est souvent utilisé par défaut en dehors de ses limites d'application**. En effet, en dessous de 70 mbar, la courbe a été extrapolée. Pourtant, de nombreuses interprétations sur des dommages facilement interprétables (vitres, toitures) sont réalisées à des niveaux de pression inférieurs aux 70 mbar.

Enfin ce modèle « simple » est valable pour les explosions de solides.

Par référence et par approximation (notamment sur des similitudes dans la décroissance des surpressions aériennes dans l'environnement à une certaine distance de l'origine de l'explosion), d'autres types d'explosions (notamment de gaz) font l'objet d'estimations avec l'équivalent TNT avec différentes étapes intermédiaires (exemple de l'accident de Trilport en 2002, rapport INERIS pour le Ministère).

Par ailleurs avec d'autres effets (ex. missiles), il est possible d'obtenir des estimations d'équivalent TNT (exemple de l'accident de Saint-Romain en Jarez en 2003, rapport INERIS pour le Ministère).

2. MODELISATION (A REBOURS) ET CARTOGRAPHIE DES EFFETS DE SURPRESSION D'UNE EXPLOSION DE PRODUITS SOLIDES

Le principe général des méthodes simples de calculs des surpressions aériennes est articulé autour de deux étapes principales :

- détermination de l'énergie d'explosion et de son équivalent TNT,
- calcul de la décroissance des ondes de surpression aériennes.

Les deux paragraphes suivants présentent les méthodes retenues pour chacune de ces étapes **dans le cas de l'explosion de produits solides**. Ces principes fonctionnent dans le cadre de la **prévention avec la modélisation a priori** des effets potentiels d'une explosion moyennant l'énergie disponible dans le procédé ou stockage.

A posteriori ces principes et méthodes peuvent être utiles :

- si l'on a peu de dégâts à interpréter pour établir l'équivalent TNT (ou l'énergie de l'explosion) mais que l'on connaît le terme source de l'origine de l'explosion (par la recherche des causes) et dont on peut déduire l'énergie disponible pour l'explosion,
- pour la recherche des causes et l'identification du terme source à l'origine de l'explosion, en déterminant à partir de l'équivalent TNT déduit des dégâts, l'énergie de l'explosion et la masse de produit ayant participé à l'explosion,
- cartographier les effets de surpression probablement observés à partir de l'estimation de l'équivalent TNT (déduit de l'analyse des dommages ou de la connaissance du terme source et de l'énergie disponible).

2.1 DETERMINATION DE L'ENERGIE D'EXPLOSION : METHODES BASEES SUR L'EQUIVALENT TNT

Les principes exposés ci-après peuvent être utiles à la détermination de l'énergie de l'explosion à partir de l'équivalent TNT et vice-versa et/ou à la détermination de la masse de produit ayant participé à l'explosion.

Ces méthodes sont les premières utilisées de par le monde pour prévoir les conséquences de tout type d'explosion accidentelle. Elles reposent sur l'hypothèse selon laquelle, il doit être possible de reproduire le champ de surpression qui est engendré par une explosion donnée (de gaz, d'un explosif condensé, ...) en faisant exploser du TNT. Ainsi, l'équivalent TNT d'un mélange gazeux explosible correspond à la masse de TNT qui en explosant engendrerait le même champ de surpressions que celui engendré par l'explosion d'un kg du mélange explosible considéré. Cet équivalent TNT, noté par la suite M_{TNT} , est calculé au moyen de la relation ci-après.

$$M_{TNT} = a \times \frac{M_{produit} \times E_{produit}}{E_{TNT}} \quad \text{Equation 1}$$

où $M_{produit}$ représente la masse de produit,

$E_{produit}$ représente l'énergie libérée par l'explosion d'un kg de produit,

E_{TNT} représente l'énergie libérée par l'explosion d'un kg de TNT soit environ 4 690 kJ,

et a représente le « rendement » de l'explosion.

Le rendement « a » a différentes significations selon ce que représente exactement la masse $M_{produit}$. En effet, $M_{produit}$ peut représenter :

- la totalité de la masse de produit explosif présent dans le stock considéré,
- ou la masse de produit explosif qui participera réellement à l'explosion.

Dans le premier cas, le rendement a est à considérer comme « global ».

Dans le second cas, a représente un rendement « d'explosion ».

Ensuite, quel que soit le type de cas considéré, a est généralement déterminé à partir de l'analyse des accidents passés. Ces analyses sont le plus souvent statistiques et ont été réalisées avec différents objectifs de sorte qu'il en résulte différentes valeurs pour le rendement a correspondant par exemple :

- à une valeur de plus grande vraisemblance statistique,
- ou à une valeur plus ou moins maximale et donc majorante.

2.2 CALCUL DE LA DECROISSANCE DES ONDES DE SURPRESSION AERIENNES ET CARTOGRAPHIE GENERALE DES EFFETS DE L'EXPLOSION

A partir de la masse de TNT équivalente déterminée à partir du relevé des dommages ou à partir de l'énergie disponible pour l'explosion, il est possible de déterminer les distances auxquelles des effets de pression donnés seraient observés et établir ainsi une cartographie générale des effets de surpression.

Ainsi certaines courbes d'iso-pressions peuvent être établies a posteriori et de manière générale (pas d'applicabilité automatique pour des effets locaux en raison d'effets d'écrans et de problématique locales de propagation des ondes de pression). Pour ce faire, il peut être fait usage d'abaques tels que l'abaque TM5-1300 (voir figure ci-après). A posteriori et à parti de ces estimations globales, il est ainsi possible de déterminer les distances approximatives où ont été observés certains seuils réglementaires de surpression, avec les formules suivantes :

$$D_{140 \text{ mbar}} = 10 \times (M_{Eq. TNT})^{1/3}$$

$$D_{50 \text{ mbar}} = 22 \times (M_{Eq. TNT})^{1/3}$$

Avec $M_{Eq.TNT}$, la masse de TNT équivalent exprimée en kg,

$D_{140\text{ mbar}}$, la distance en mètre à laquelle un seuil de 140 mbar serait atteint,

$D_{50\text{ mbar}}$, la distance en mètre à laquelle un seuil de 50 mbar serait atteint.

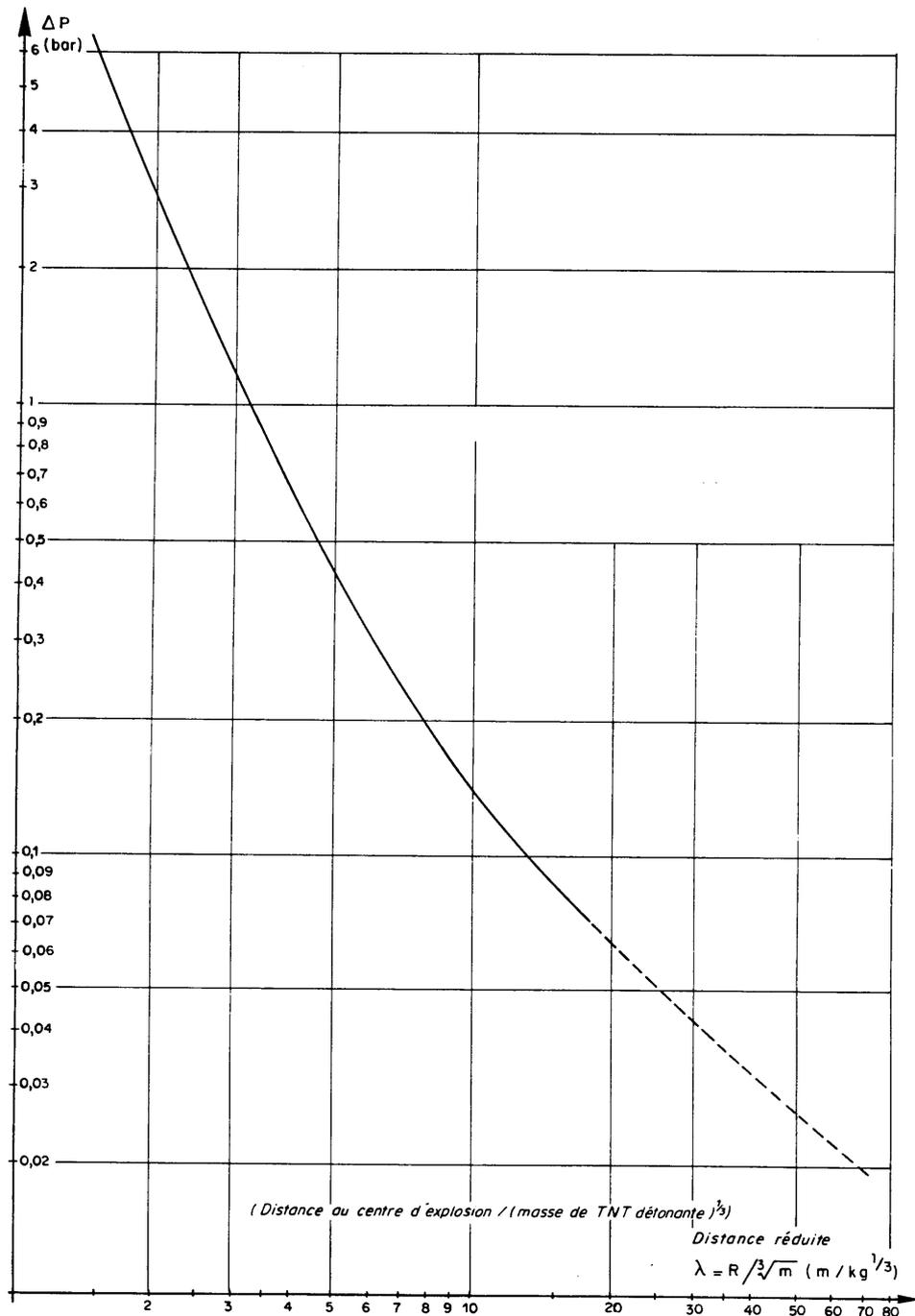


Figure 1 : Abaque TM5-1300 extrapolé (tiré de Lannoy, 1984) donnant les surpressions engendrées par la détonation d'une masse de TNT posée au sol

Analyse des changements

1. OBJECTIF DE LA FICHE

Cette fiche propose une démarche pour analyser les changements par rapport à une situation « normale » et pour prendre en compte leurs effets combinés dans l'analyse d'un accident. Elle présente le principe de la méthode et la démarche méthodologique.

Cette méthode a pour objet d'aider à la formulation d'hypothèses quant aux causes de l'accident. Il s'agit d'une méthode alternative et complémentaire à l'établissement de la chronologie et de l'arbre des causes (notamment si la collecte des données est difficile par ailleurs).

2. PRINCIPE DE LA METHODE

La méthode repose sur l'hypothèse que les accidents résultent de l'effet d'un ou plusieurs changements par rapport à une situation « normale » qui fonctionnait (ou semblait fonctionner).

Par exemple, l'accident de Bhopal (1984) est consécutif à une succession de décisions stratégiques d'ordre économique impactant la maintenance de l'installation. L'accident de Floriffoux (1993) et celui de BP Texas City (2005) sont consécutifs à un rachat de l'installation concernée.

Ces changements peuvent avoir été induits dans le système : il peut s'agir par exemple de projets ou de corrections apportées au système. Ces changements peuvent également avoir échappés à la vigilance ou à la maîtrise de l'exploitant : il peut s'agir par exemple de dérives organisationnelles ou de changements dont les enjeux n'ont pas été évalués.

Dans ces deux cas, les effets peuvent n'apparaître que longtemps après le changement (on rejoint ici les notions de facteurs latents et de période d'incubation) et provoquer une situation accidentelle.

3. DEMARCHE METHODOLOGIQUE

La méthode d'analyse des changements comporte **quatre étapes principales** :

1. Considérer la situation accidentelle
2. Considérer une (des) situation(s) comparable(s) non accidentelle(s)
3. Comparer la situation accidentelle avec la situation de référence non accidentelle :
 - a. Relever toutes les différences connues, qu'elles semblent pertinentes ou non
 - b. Analyser les différences pour leurs effets sur la production de l'accident
4. Caractériser les changements pouvant expliquer les différences identifiées

L'identification des changements s'effectue en référence aux questions suivantes :

- Quoi ? : installation, objets, matières, énergies, défauts, équipements de production, etc.
- Où ? : sur l'objet, dans le procédé, lieu, etc.
- Quand ? : dans le temps, dans le procédé, etc.
- Qui ? : opérateur, équipe de maintenance, encadrement, etc.
- Tâche ? : but, procédure, qualité, etc.
- Conditions de travail ? : environnement, programme, délais, etc.
- Evénement déclencheur ? : événement qui, combiné à des conditions anormales, aboutit à un accident
- Organisation et contrôle ? : chaîne fonctionnelle de contrôle, enregistrement, analyse de risques, etc.

Ainsi, l'analyse des changements s'effectue à l'aide du tableau suivant :

Tableau n°1 : Analyse des changements

	Situation accidentelle	Situation normale ou comparable	Différences	Changements
Quoi ?				
Où ?				
Quand ?				
Qui ?				
Tâche ?				
Conditions de travail ?				
Evénement déclencheur ?				
Organisation, contrôle ?				

In fine, les changements qui ont causé un impact négatif sur la sécurité vont rejoindre la liste des causes ou facteurs causaux identifiés par ailleurs.

A titre complémentaire et pour traiter les causes profondes, ces changements ne doivent pas être considérés comme la fin de l'investigation mais comme le début.

L'analyse du processus d'exploitation, de maintenance, de retour d'expérience, d'audit peut démarrer dès ce stade. En effet, pourquoi ces changements qui ont ou qui pouvaient avoir un effet négatif sur la sécurité ont-ils été ignorés, permis, encouragés ?

4. EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODE D'ANALYSE DES CHANGEMENTS A LA CATASTROPHE DE BHOPAL (INDE - 3 DECEMBRE 1984)

Résumé de l'accident (source : www.aria.developpement-durable.gouv.fr) :

Une compagnie américaine implante en 1969 à Bhopal une usine de fabrication d'un puissant insecticide : le Sevin.

L'installation comprend 3 réservoirs de 60 m³ (50 t) d'isocyanate de méthyle (MIC) liquide (E610, E611 et E619), chacune étant reliée à différents systèmes de sécurité : installation de réfrigération, laveur de gaz d'échappement, torchère et dispositif de pulvérisation d'eau.

Le ministère indien a autorisé l'usine à produire 5 000 t/an de Sevin. Pour faire face à la concurrence sur le marché des insecticides et à un déficit budgétaire de l'usine de 4 millions \$/an, la société mère décide d'arrêter sa production locale de Sevin, de supprimer de nombreux postes d'encadrement (maintenance notamment) et de faire fonctionner le site au moindre coût...

L'accident a lieu dans la nuit du 2-3/12/1984. Après le nettoyage de canalisations, de l'eau pénètre dans le réservoir E610 et initie plusieurs réactions en chaîne conduisant à des élévations de température (200 °C) et de pression (13,79 bar). En 2 h, une soupape de sécurité laissera s'échapper 23 à 42 t de MIC et autres gaz toxiques selon les sources.

Plusieurs systèmes de sécurité se sont avérés défectueux : réfrigération à l'arrêt (06/84), laveur de gaz d'échappement hors service (23/10/84), torchère hors d'usage (quelques jours avant l'accident), indicateurs de température, pression et niveau de liquide dans la cuve défectueux, rideau d'eau pas assez puissant.

Les émanations toxiques font de nombreuses victimes parmi la population : 1 754 à 2 500 morts et 170 000 à 600 000 intoxiqués selon les sources. Plus de 4 000 animaux (bétails, chiens, chats, oiseaux) sont morts. Une pollution chronique aggravée par les rejets toxiques affecte de longue date la population. Fin 1998, le bilan des victimes s'est allongé ; 16 000 morts sont dénombrés et 15 à 20 individus décèdent chaque mois des suites de l'accident.

La justice indienne condamne la compagnie à verser 470 millions \$. En 1991, le tribunal de Bhopal assigne le président de la compagnie, à comparaître pour homicide dans une affaire criminelle.

En 2004, la Cour Suprême indienne ordonne à la banque centrale de débloquer au plus vite le reste de la somme versée en 1989 par la compagnie et de la distribuer aux victimes.

Le Parlement européen demande à l'Inde d'assurer dans un délai bref la décontamination et le nettoyage effectif du site.

Mémento technique – Enquête Accident – Fiche Pratique n°J – Analyse des changements

Questions	Situation accidentelle	Situation normale	Différences	Changements
Quoi	Rupture d'isolement de la cuve contenant du MIC (cuve E610) ; cuve non mise sous pression	Vanne fermée permettant de mettre la cuve sous pression	Vanne défectueuse	Diminution des moyens alloués à la maintenance ; Suppression de postes d'ingénieurs de maintenance
Tâche	Canalisations de purges partiellement bouchées	Obturateur coulissant en place lors du nettoyage des canalisations	Non mise en place de l'obturateur ;	Suppression du poste de responsable d'entretien
			ordre de mise en place de l'obturateur non donné	(diminution du nombre d'ouvriers de 1350 à 950 en 4 ans) ; Manque de personnel, mauvaise qualification et formation du personnel ; non prise en compte des audits de sécurité antérieurs
Evénement déclencheur, Quand, Où	Reflux d'eau vers la cuve contenant du MIC (E610)	Isolement de la cuve E610	Raccordement entre deux canalisations menant d'un côté à l'épurateur de gaz et de l'autre à la cuve E610	Non mise en place de l'obturateur lors d'une opération de nettoyage des canalisations
Quoi	Présence d'ions ferreux (catalyseurs de la réaction de trimérisation du MIC) dans le stockage du MIC	0,5 % de CHCl ₃ dans le stockage de MIC	Quantité anormale (12-16%) de CHCl ₃ présente dans le stockage du MIC	Distillations réalisées à température trop élevée ; défaut d'analyse des cuves
Quoi	MIC stocké à température ambiante	MIC refroidit à 0°C afin de limiter son évaporation, sa polycondensation et sa réaction avec les impuretés	Unité de refroidissement hors service	Arrêt de l'unité de refroidissement depuis 1984 pour économiser 18% d'énergie
Conditions de travail	Réaction exothermique du MIC et vaporisation du MIC et ouverture de la soupape	Surveillance et maintien des conditions prévues de température et de pression à l'intérieur de la cuve à partir des indicateurs disponibles	Alarmes sonores de température haute débranchées, indicateurs de température, pression et de niveau de la cuve défaillants ; périodicité de vérification des paramètres inadaptée	Diminution des moyens alloués à la maintenance ; vérification des paramètres toutes les 8 heures un mois avant l'accident au lieu de toutes les heures

Questions	Situation accidentelle	Situation normale	Différences	Changements
Quoi	Laveurs de gaz d'échappement indisponibles	Laveurs de gaz mettant en œuvre de la soude permettant de neutraliser les gaz d'échappement	Laveurs de gaz arrêtés depuis le 23 octobre 1984	Laveurs arrêtés pour entretien ?
Quoi	Torchère indisponible	Torchère permettant de brûler les gaz d'échappement	Torchère démontée	Torchère en démantèlement pour entretien depuis quelques jours
Organisation et contrôle	Alerte inefficace et mauvaise gestion accidentelle	Moyens d'alerte, d'évacuation et de protection des salariés et de la population disponibles et bien dimensionnés	Alarme externe déconnectée ; nombre d'issue de secours insuffisant ; absence de plan d'évacuation interne ; pas de consignes en cas d'accident ; manque d'information sur la toxicité des produits ; absence de plans d'évacuation et d'urbanisation ; manque d'information auprès des médecins la nuit de l'accident	Plan d'urgence non établi ; urbanisation à proximité de l'usine (bidonvilles) ; usine non contrôlée par les autorités

Cette méthode constitue un bon moyen pour démarrer une analyse d'incident. Elle peut être facilement mise en œuvre dans le cadre d'un groupe de travail.

L'application de cette méthode permet d'identifier à la fois les causes immédiates des accidents (ex : reflux vers la cuve contenant du MIC) et à la fois des pistes pour la recherche des causes profondes¹ de l'incident (ex : manque de formation).

¹ La profondeur de l'analyse réalisée au moyen de cette méthode dépend des enjeux de l'accident.

Exemple d'application des principes des fiches de base :
n°4 : sur les barrières techniques et humaines
n°6 : sur les causes profondes et le management de la sécurité

1. EXEMPLE D'INVESTIGATION DES BARRIERES TECHNIQUES ET HUMAINES

Dans l'exemple suivant, il est proposé de faire l'application de ces deux modèles (barrières techniques et humaines) afin de procéder à l'investigation de l'incident.

1.1 PRESENTATION DU CAS

C'est un exemple délibérément très simple, techniquement peu compliqué mais impliquant des barrières humaines. Il n'y a pas de barrières techniques nécessitant un approfondissement. L'exemple est donc orienté principalement sur l'identification des barrières ainsi que l'utilisation des précautions à prendre pour l'interprétation des barrières humaines. Ces deux étapes sont en effet des points clés (et points « durs ») de nombreuses investigations. Dans un premier temps, on réalise le passage par l'identification des barrières, et dans un deuxième temps on applique les précautions d'interprétation relatives aux barrières humaines.

Pour la simplification de l'exemple, nous partons d'une description toute faite (source : Barpi, 2003).

« Dans un atelier de fabrication de principes actifs pour la pharmacie, un opérateur transfère de l'acétone d'un réacteur (niveau 7 m) vers un autre (niveau 3 m) dont la vanne d'échantillonnage située en point bas (niveau 0 m) est restée ouverte. Le solvant s'écoule vers un mur de l'atelier, comportant un passage non obturé de 10 cm, à l'extérieur duquel un ouvrier d'une entreprise sous-traitante effectue une découpe au chalumeau. Un 2^{ème} opérateur constate la fuite et ferme la vanne. Un explosimètre défaillant depuis 3 jours (problème de liaison) n'avait pas été réparé. Une inflammation des vapeurs se produit à l'extérieur et le feu se propage instantanément sous le réacteur puis aux étages supérieurs par une trémie. Un technicien sécurité déclenche la sirène POI et le repli de l'atelier. Les alimentations électriques de l'atelier sont coupées et le réseau d'évacuation des eaux détournées vers une rétention. Un agent utilise un RIA depuis le niveau 7 m et quelques minutes après le système déluge se déclenche maîtrisant puis éteignant l'incendie. L'eau est laissée en refroidissement des structures pendant une vingtaine de minutes. Des employés, équipés de ARI, font une reconnaissance dans l'atelier permettant la levée du POI 30 min après son déclenchement. L'exploitant, après une analyse de cet accident intervenu pendant des travaux d'aménagement réalisés en période d'été, revoit les pentes d'écoulement des sols de l'atelier et modifie la procédure de travaux avec permis de feu : information des opérateurs de l'atelier, définition d'une plage horaire, interdiction d'utilisation de feu nu dans les zones à risques pendant les phases d'exploitation, mise en place de prises électriques dédiées aux entreprises extérieures asservies à la détection explosométrique et alimentées uniquement pendant le créneau horaire du permis de feu. »

Voici un schéma permettant d'illustrer cette situation (Figure 1) :

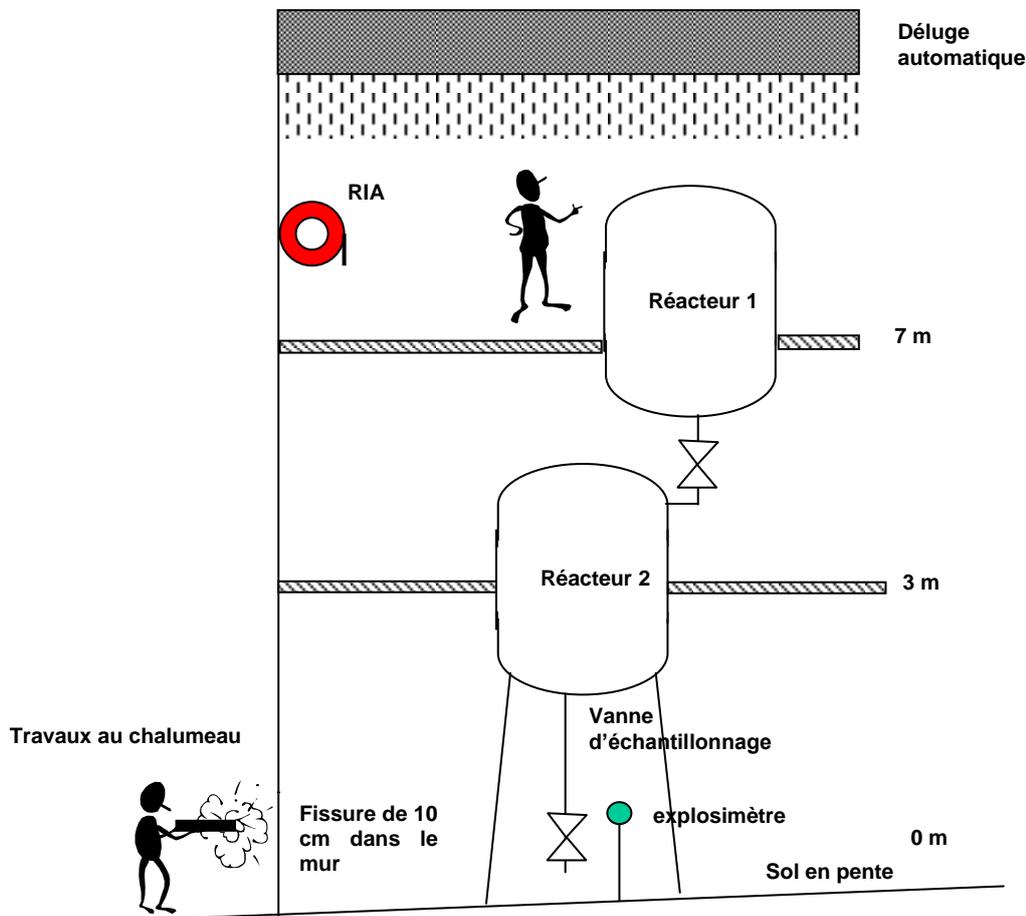


Figure 1 : Schéma de la situation d'incident tiré de la base ARIA du BARPI

1.2 UTILISATION DU MODELE « TRANCHE DE GRUYERE »

Dans un premier temps, il s'agit d'extraire les barrières de la description des événements :

1. contrôle de la vanne d'échantillonnage
2. détection explosimétrique (+ alarme)
3. évacuation des produits (drainage)
4. permis de feu
5. déluge automatique
6. POI

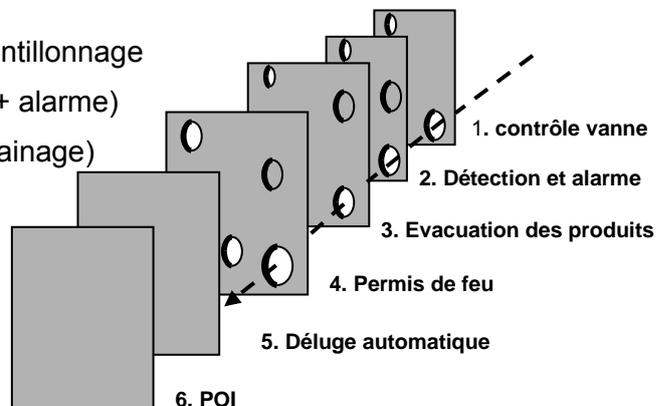


Figure 2 : Exemple illustré par le modèle des tranches de gruyère de Reason (1990)

Dans cet exemple, il est très clair que l'accident consiste en un enchaînement d'événements qui passent au travers de nombreuses barrières, à la fois technique et humaine. Il est possible, à partir de l'énumération de celles ci (et la représentation en tranche de gruyère, très visuelle), de passer dans le formalisme des nœuds papillon (figure 3):

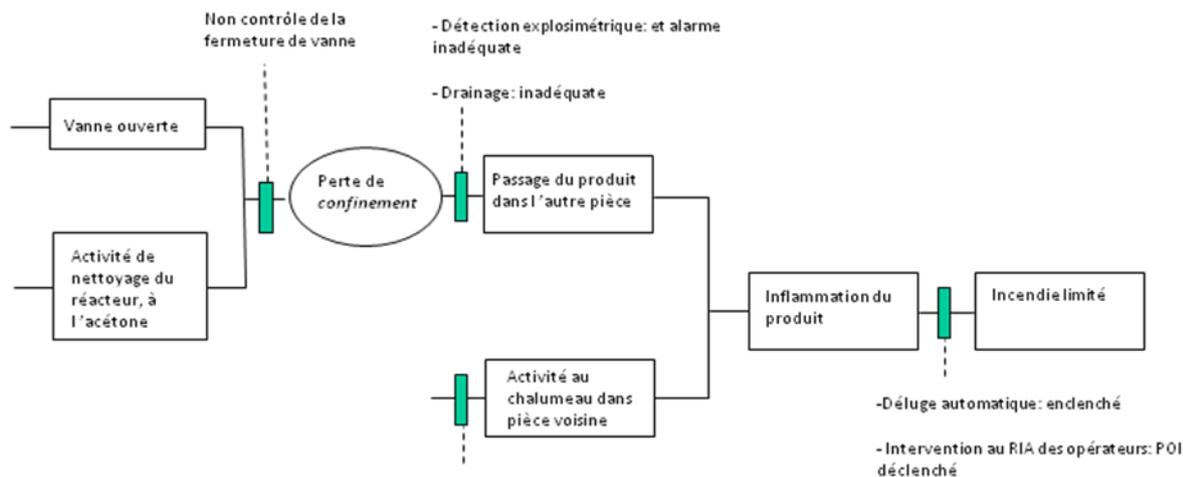


Figure 20 : Représentation de la séquence accidentelle en tenant compte des barrières prévues

Il est évident à partir de cet événement, même si l'événement initiateur est fort probablement une action humaine (« vanne ouverte »), il est pour autant impossible d'attribuer le déroulement de la séquence accidentelle à un seul individu. Au contraire ici, **il est bien clair qu'un ensemble d'inadéquations permettent le déroulement de la séquence accidentelle, et pas seulement une erreur humaine.**

Il est fort probable que : si le contrôle avait été effectué, si le détecteur avait marché, si le drainage avait fonctionné et si personne n'avait travaillé avec un point chaud derrière le mur, il n'y aurait jamais eu d'inflammation des produits. On voit que derrière cet accident, il y a de nombreuses dimensions liés au management et à l'organisation de la sécurité (ce point est développé en partie 2 en illustration de la fiche 6). Dans la partie suivante, il est question de l'interprétation des barrières humaines (associé à la notion d'erreur humaine).

1.3 LES PRECAUTIONS A PRENDRE POUR LES BARRIERES HUMAINES

Dans cet exemple, il y a en effet quelques barrières humaines sous jacentes. La première concerne le contrôle de la fermeture de la vanne. Mais il y a peu d'information. On nous dit « la vanne est restée ouverte ». Supposons qu'il s'agisse d'une vanne manuelle, et laissée ouverte potentiellement à la suite d'un oubli (ce n'est qu'une hypothèse ici), oubli qui n'a pas fait l'objet d'un contrôle. Quelle précaution doit prendre l'investigateur ? Interrogeons nous avant d'interpréter la situation, en utilisant les 6 points proposés.

1. Biais de l'illusion rétrospective ou du regard omniscient : ne pas baser l'interprétation des actions des opérateurs sur des événements qui apparaissent uniquement après coup comme évidents.

Dans le cas de cet incident, peut être que l'opérateur au deuxième étage n'a jamais eu à faire une opération de nettoyage après un échantillonnage et il n'a pas l'expérience pour l'anticiper. Peut être que ces séquences de travail ne sont jamais habituellement enchaînées, ce qui rend la fonction de contrôle ambiguë. Ce qui est évident pour l'investigateur après coup ne l'est peut être pas pour l'opérateur, qui ne s'est jamais représenté cette configuration. Lorsqu'il remplit le réacteur, il ne peut peut-être pas imaginer, ou difficilement, cette situation. Ainsi, connaître la situation lorsque l'incident est survenu met l'investigateur dans une situation « omnisciente » et crée une illusion rétrospective, lorsque tout est clair. D'autre part, il n'est pas dit que cet opérateur soit en charge de la fonction de contrôle de la fermeture de la vanne avant de procéder au nettoyage.

2. Biais de la procédure comme référence absolue : ne pas se baser uniquement sur la description des procédures comme référence absolue pour interpréter les actions des acteurs.

Peut être que les descriptions contenues dans les procédures décrivant cette opération de nettoyage ne sont pas applicables. Peut être ont elles subies des aménagements pour des raisons multiples qui font que dans certaines configurations celles ci sont inapplicables. Par exemple, dans cette situation, les contraintes de production ont peut être amené l'échantillonnage et le nettoyage à se faire à la suite très rapidement alors qu'auparavant celles-ci se faisaient avec un temps suffisant pour le contrôle.

3. Biais de la faute proportionnelle au dommage : ne pas systématiquement associer la gravité du dommage à une équivalente gravité de l'action de l'opérateur entraînant la séquence, ce qui est un biais d'interprétation assez naturel.

4. Biais de la culpabilité de l'erreur : ne pas tomber dans le piège de la recherche du coupable. En effet il est aisé de désigner coupable une personne qui n'a pas fait ce qui semble après coup comme une évidence.

Les personnes qui nettoient le réacteur ou qui laissent la vanne ouverte sans faire le contrôle nécessaire, ne peuvent être perçues comme commettant des fautes graves ou « coupables », au regard des multiples inadéquations rencontrées par la suite dans les mesures de prévention d'un tel accident. Faire des erreurs dans son travail est tout à fait possible bien que non souhaitable. Le problème est lorsque des erreurs qui devraient être mineures provoquent cependant des accidents qui résultent des inadéquations du système dans son ensemble. D'autre part, il est probable que dans les conditions de travail observées ce jour là (informations dont nous ne disposons pas dans le cadre de cet exemple), la probabilité de faire une erreur était très élevée (par exemple à cause des pressions de temps très fortes et les aléas nombreux nécessitant de nombreux aménagements dans l'organisation des tâches).

5. Biais de la perte du contexte de travail : ne pas rassembler les faits, les comportements des opérateurs comme des éléments isolés, indépendant et les étudier comme tels, mais toujours les replacer dans la dynamique des événements dans les situations de décisions en interaction avec le contexte de travail (équipements, interface, etc...).

6. Biais de la perte du contexte d'équipe et organisationnel : ne pas limiter l'interprétation des actions à un seul individu mais bien prendre en compte la dimension collective dans le cas d'équipes de travail et traiter les interactions entre les individus.

Dans cet incident, il apparaît important de prendre en compte la dimension temporelle mais aussi collective des événements. Il est possible par exemple que la deuxième personne qui repère la fuite vienne fermer la vanne qu'il avait laissée ouverte car il n'avait pas réussi à la fermer sur le coup pour des raisons techniques. Auquel cas la fonction de contrôle était bien mise en œuvre mais impossible dans l'enchaînement des séquences ce jour là. Il n'avait peut être pas l'information qu'un opérateur se préparait à nettoyer les réacteurs. Ainsi, l'enchaînement temporel des actions, qui apparaît très clairement après coup une fois l'accident survenu, n'est peut être pas évident sur le coup. Il faudrait également s'interroger sur ce que l'organisation a prévu pour la fonction de contrôle, si c'est la même personne qui ferme la vanne qui contrôle ou si une seconde personne (redondance) s'en charge.

Les dimensions collectives sont très importantes, elles indiquent des dimensions liées à la coordination, à la communication, à la coopération et à la concertation entre les différents individus. Sans ces éclairages de type collectif et de travail, il est difficile d'avoir une vision d'ensemble.

2. EXEMPLE D'INVESTIGATION DES CAUSES PROFONDES LIEES AUX DEFAILLANCES DU MANAGEMENT DE LA SECURITE

Dans l'incident rapporté dans ci-avant, les barrières identifiées étaient les suivantes :

1. contrôle de la vanne d'échantillonnage (en position fermée)
2. détection explosimétrique et alarme
3. évacuation des produits (drainage)
4. permis de feu
5. déluge automatique
6. POI

L'approche consiste à prendre chacune de ces barrières et de dérouler le questionnement à partir de celles ci.

Appliquons ce principe à l'une de ces barrières à partir du détail des activités fournies plus haut : « organisation et personnel » et pour « l'analyse de risque ».

Barrière choisie pour l'exemple d'analyse : « contrôle de la vanne d'échantillonnage en position fermée ».

Cette barrière n'a pas fonctionné car la vanne, plutôt que d'être fermée, est restée en position ouverte. On ne connaît pas bien le contexte de cette situation. On sait seulement que la vanne est restée ouverte. Nous avons vu, en appliquant l'hexagone des biais d'interprétation des erreurs humaines que les dimensions du travail, du collectif et de l'organisation étaient très importantes.

Le but de la dimension du management de la sécurité est d'entrer de manière systématique dans ce type de questionnement (voir fiche pratique n°L pour les questionnements types d'activité de gestion formelle de la sécurité). Le questionnement sur cette barrière est illustré ci-après.

Activité analysée pour cette barrière : « organisation du personnel »

En reprenant le tableau, voici les questions qui pourraient être posées au regard de cette barrière « contrôle de la vanne d'échantillonnage en position fermée) :

- **La formation**

Comment la personne sensée contrôler la vanne a-t-elle été formée à son poste de travail ?

Est ce que la définition des besoins en formation permet de répondre à ce problème ?

Comment est ce que les connaissances sont vérifiées ? etc

- **Le travail de la supervision**

Est ce que la supervision sur ces tâches est adéquate ?

Est ce que les variations autour des pratiques sont prises en compte par la supervision ?

Est ce que les déviations sont corrigées ? Peuvent-elles l'être ?

- **La motivation du personnel**

Est-ce que le fait de ne pas faire selon les règles est plus favorable que de faire selon les règles ?

Est ce que l'encadrement est présent dans les ateliers ?

Y a t il des pressions de temps ? etc

- **La sélection du personnel**

Est ce que la tâche en question implique une sélection du personnel spécifique.

Ces quelques exemples permettent de mettre en évidence de manière systématique les dimensions de contexte lié à l'organisation du personnel. Il faudrait par ailleurs poser des questions sur les autres thèmes comme notamment les aspects liés à la « maîtrise des procédés », concernant les procédures, la conception ergonomique des installations etc...

Activité analysée pour cette barrière : « analyse de risques »

Dans la suite du questionnement sur les causes du (non-) contrôle de position de la vanne, peut être y a t il une insuffisance sous jacente, dans les analyses de risques, qui n'a pas permis d'anticiper la situation à risque rencontrée.

Voici les quelques questions qui pourraient être utilisées à partir du tableau proposé:

- **Les critères de l'analyse de risque**

- **Concepts et spécifications**

Est ce qu'une analyse de risque a été réalisée pour cet l'incident impliquant la vanne ?

Est ce que les informations fournies pour réaliser l'analyse de risque étaient disponibles ? (qualité de l'information sur les substances dangereuses, les procédés, les dispositifs mis en œuvre).

Est ce que les personnes nécessaires pour l'analyse étaient présentes ?

- **Conceptions et développements (options pour la maîtrise des risques)**

Est ce que le facteur humain a été pris en compte au moment des analyses de risques ? (compétences requises, analyse de tâche, évaluation des ressources nécessaires pour les opérateurs et machines, implication des utilisateurs dans la conception, interface machine permettant une interprétation rapide et fiable, évaluation de l'impact des interprétations inadéquates sur l'activité, prise en compte des règles de l'art ergonomique en matière de couleurs, d'affichage etc, évaluation des erreurs humaines possibles et de leur impact sur l'activité),

Est ce que la définition de l'inspection et de la maintenance nécessaire à l'installation, à savoir leur planification et mise en place, a été effectuée à partir des résultats des analyses de risques ?.

Est ce que les éléments peuvent être considérés comme des éléments importants pour la sécurité ?

Les spécifications liées à l'opérabilité et la préparation de l'installation, à savoir les tests nécessaires des installations avant leur utilisation, les informations nécessaires à la supervision de l'activité en terme de responsabilité et de capacité d'encadrement, l'adéquation des procédures (mise à jour, affichage, lisibilité, contenu), la sélection bien spécifiée du personnel pour l'activité, la formation adéquate par rapport aux compétences requises, la motivation du personnel,

Les autres activités et les autres barrières

Ainsi, la démarche systématique qui est proposée ici est de poser, pour les autres barrières (détection explosimétrique, drainage, permis de feu, déluge automatique, POI), les questions qui sont pertinentes et qui permettent d'entrer dans le fonctionnement du système de management de la sécurité (voir fiche pratique n°L pour les questionnements types d'activité de gestion formelle de la sécurité).

**Questions types sur les activités de gestion formelle des risques (de type SGS)
– en lien avec les causes profondes (organisationnelles)**

Il existe un certain nombre de modèles qui peuvent servir pour le questionnement sur le management de la sécurité. Les principes seront plus ou moins les mêmes dans ces modèles. **Une façon de procéder** (tirée du référentiel, Management Oversight Risk Tree, MORT) **est de distinguer deux niveaux au sein des activités du management de la sécurité (au sens SGS), qui sont en lien direct et plus indirect avec la séquence accidentelle, les barrières techniques et humaines :**

1. **Un niveau opérationnel** (maîtrise des procédés, gestion des modifications, organisation et personnel, gestion des situations d'urgence) en contact direct avec le procédé, ses risques, et les actions opératoires et de récupération.
2. **Un niveau système** (politique de sécurité, analyse de risque, audit et retour d'expérience) avec des activités qui supportent et conditionnent fortement les activités de gestion de la sécurité au niveau opérationnel.

De manière plus détaillée, les activités organisationnelles de gestion des risques ont des effets (symbolisés ci-dessous par les flèches descendantes de la figure 1) indirects et directs sur la prévention du développement d'une séquence accidentelle. Elles seront questionnées et analysées progressivement selon les besoins et découvertes de l'investigation (symbolisés par les flèches noires de la figure 1) à partir de la connaissance de la séquence accidentelle et des barrières (présentes ou qui auraient pu être envisagées).

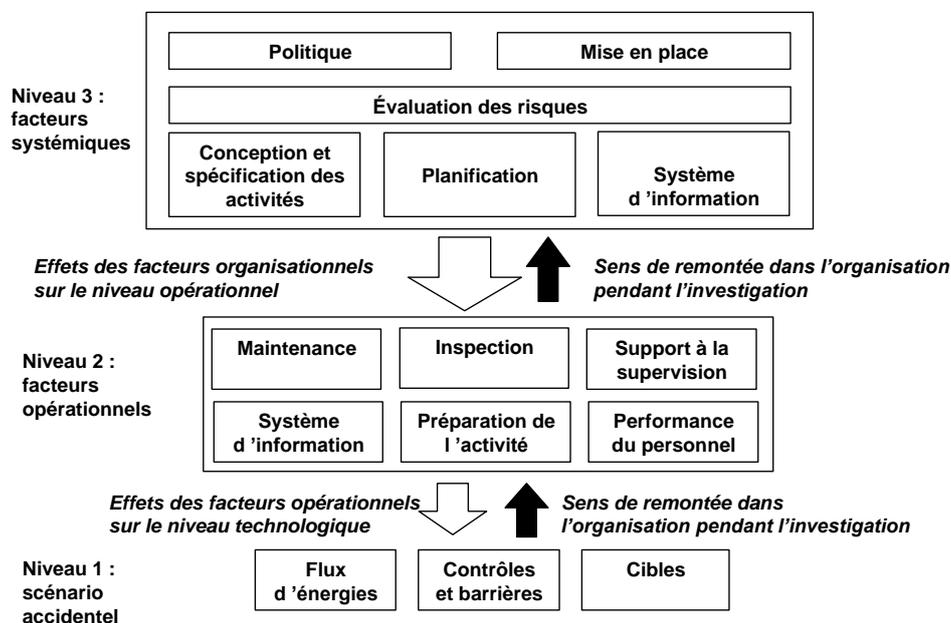


Figure 1 : 3 niveaux d'investigation (modifié d'après la méthode MORT et Reason)

Il est proposé de détailler dans cette fiche les points qui sont à prendre en compte dans chacune des activités du SGS. **Des questions ou thèmes de questionnement (tirés du référentiel MORT, SAN 821-2, US Atomic Energy Commission, 1973) sont proposés et présentés par rubrique du SGS.**

1. EXEMPLE DE REFERENTIEL POUR LE QUESTIONNEMENT SUR LES ACTIVITES DE GESTION FORMELLE DES RISQUES

Le concept du référentiel Management Oversight Risk Tree (MORT) repose sur trois niveaux et recouvre les exigences du Système de Gestion de la Sécurité (SGS).

Le référentiel MORT propose de chercher à comprendre, par l'intermédiaire du **principe des barrières et contrôles**, pourquoi l'incident ou l'accident n'a pu être évité. C'est le **premier niveau**.

Pour entrer dans cette recherche par les barrières et contrôles, le schéma de base suivant est proposé (figure 2). Il s'agit de la représentation qui associe le tryptique « source – barrières/contrôles – cible ». Lorsqu'un incident survient, c'est qu'une cible (matérielle, humaine, environnementale) a été atteinte par une source d'énergie (explosion, incendie, gaz toxique) et que la barrière ou le contrôle en place n'a pas joué son rôle.

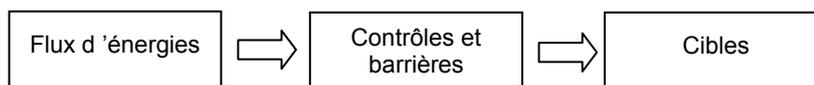


Figure 2 : La représentation source-barrière-cible

Ce questionnement sur les barrières et contrôle constitue donc le point d'ancrage, c'est à dire **l'interface technique avec l'organisation**. En effet, pour avoir une barrière ou un contrôle inadéquat (ou dysfonctionnement observé), il faut pour cela que les activités de management de la sécurité l'aient permis.

Le second niveau organisationnel de MORT concerne donc les activités nécessaires pour le fonctionnement de ces barrières et contrôles.

Ces activités (figure 3) concernent la maintenance, l'inspection en interne à l'entreprise, la préparation de l'opération, la performance du personnel (dans le cas d'une erreur opératoire), le support à la supervision, le système d'information (ce dernier point est très important car c'est le lien avec la connaissance des procédés utilisés mais aussi du retour d'expérience). Ce niveau est en lien direct avec l'activité, c'est le niveau opérationnel. **Il concerne une partie des activités du SGS (Maîtrise des procédés, Gestion des modifications, Organisation et personnel, Gestion des situations d'urgence).**

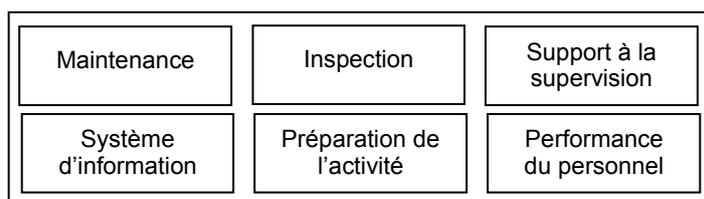


Figure 3 : niveau opérationnel, les activités en interface avec les barrières

Ces activités opérationnelles de maîtrise des risques (ici barrières et contrôles) sont elles même dépendantes de la manière dont l'organisation, à un niveau supérieur, évalue les risques, conçoit les installations, met en place la politique sécurité et attribue les ressources. C'est le troisième niveau.

On retrouve donc naturellement dans le référentiel MORT les activités en rapport avec la politique de sécurité, la mise en place/œuvre de la politique, l'évaluation des risques, la planification des activités, la conception et spécification des activités et installations ainsi que, à nouveau, le système d'information, qui doit permettre la connaissance des produits dangereux et procédés, mais aussi la capitalisation du retour d'expérience, à plusieurs niveaux, interne et externe. Ce niveau est dit systémique (figure 4). **Il concerne d'autres activités du SGS : politique de sécurité, analyse de risque, audit et retour d'expérience.**

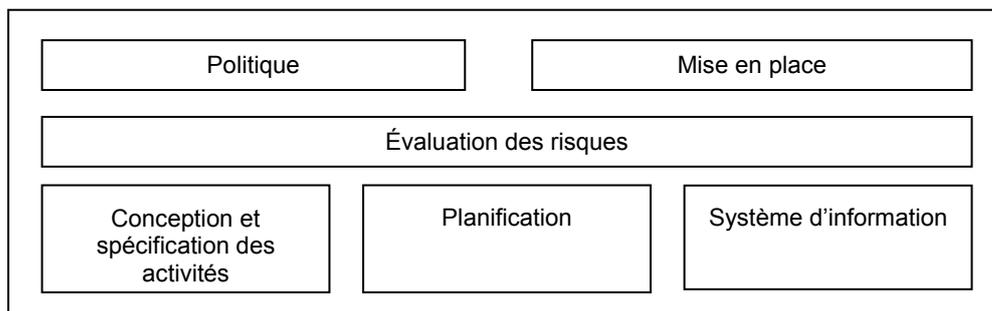


Figure 4: Niveau systémique, les activités de la direction, conception et planification

2. QUESTIONNEMENT TYPE SUR LES ACTIVITES DE GESTION FORMELLE DES RISQUES

Les thèmes de questionnement (inspirés du référentiel MORT) sont proposés et présentés par rubrique du SGS (maîtrise des procédés, gestion des modifications, organisation et personnel, gestion des situations d'urgence, politique de sécurité, analyse de risque, audit et retour d'expérience).

Ils visent à fournir à l'IIC des points à vérifier ou thèmes génériques pouvant faire l'objet de questions pour éclaircir le contexte organisationnel de la maîtrise des risques et d'éventuelles défaillances de la gestion des risques.

Ces points de vérification et thèmes de questionnement peuvent être complétés et renforcés par d'autres points formalisés dans d'autres guides de l'IIC (notamment le guide pour l'inspection du SGS).

2.1 MAITRISE DES PROCEDES

<i>Préparation des tâches</i>
Si l'installation est prête à être utilisée (inspection avant démarrage, inspection avant démarrage spécifiée, adéquation des critères d'inspection, adéquation de la procédure d'inspection avant démarrage, suivi adéquat, compétence et expérience du personnel pour cette inspection, résolution des problèmes soulevés lors de cette inspection avant démarrage), présence de toute l'information nécessaire, adéquation de la coordination entre le personnel d'exploitation et de maintenance/inspection pour permettre la contrôle de l'opérabilité, conformité l'installation aux spécifications initiales
<i>L'inspection</i>
La planification et la mise en place de l'inspection
<i>Performance de la supervision</i>
La formation de la supervision à la fonction d'encadrement, au risque et à la sécurité, l'évaluation de la supervision, le temps disponible à la supervision pour encadrer les opérateurs et les activités, l'adéquation de la détection et correction des risques par la supervision (risque connu mais non détecté, risque détecté mais non corrigé)
<i>Performance des opérateurs</i>
La clarté de la définition des tâches à réaliser, l'analyse de risque de la tâche quand il y a des risques identifiés, un briefing avant démarrage si modification, l'utilisation des moyens de maîtrise spécifiés, l'adéquation écrite ou orale de l'activité par rapport aux spécifications d'exécution
<i>Support à la supervision</i>
La disponibilité de l'information nécessaire à la supervision pour maîtriser le procédé, l'adéquation de la communication entre la supervision et le support, adéquation des standards par la supervision, l'adéquation des ressources fournies à la supervision (formation suffisante, support technique suffisant), l'adéquation de l'utilisation des ressources, l'adéquation de l'intérêt par le management des questions soulevées par la supervision

2.2 GESTION DES MODIFICATIONS

Maintenance / Inspection
<i>Planification de la maintenance</i>
Adéquation de la définition des tâches de la maintenance (problème de maintenabilité, méthode d'intervention, intervalle et fréquence de la maintenance, disponibilité de ce planning aux opérateurs, coordination entre les équipes de production et maintenance, compétence,...), problème d'identification de la défaillance impliquée (analyse précédente sur le même type de problèmes, prise en compte de ces analyses)
<i>Exécution</i>
Introduction de la défaillance dans les installations consécutivement à des travaux de maintenance, temps alloué à réaliser à la tâche de maintenance, niveau de réalisation de la tâche

2.3 ORGANISATION ET PERSONNEL

Performance du personnel
<i>La sélection du personnel</i>
La définition du poste, la capacité à sélectionner la personne par rapport aux critères du poste
<i>La formation</i>
La formation de la personne au poste de travail, définition des besoins de formation, la qualité de la formation (méthodes, contenu), la compétence des formateurs, la vérification des connaissances auprès des formés
<i>Le travail de la supervision</i>
Sur les déviations par rapport au travail prévu à savoir la définition de la variabilité autour de la tâche, la performance de l'opérateur par rapport à cette variabilité, la connaissance par la supervision des critères de déviations et sa connaissance sur la détection possible de problèmes (alcoolisme, problème personnel), l'observation par la supervision de variabilité dans la tâche, la correction par la supervision des déviations (mesures disciplinaires etc)
<i>La motivation du personnel</i>
L'encadrement du personnel et la qualité du leadership (expression par la supervision de son intérêt pour le travail de l'opérateur, exemplarité de la supervision, présence de la supervision dans les ateliers), la pression de temps, est-ce que le fait de ne pas faire selon les règles est plus favorable que de faire selon les règles, est-ce que la tâche importe à l'opérateur, les opérateurs au sein du groupe de travail (les conflits avec la supervision, avec les autres opérateurs, la psychologie de l'individu était elle acceptable par rapport à la tâche en question), la qualité du travail sur la motivation du personnel

2.4 PREPARATION DES SITUATIONS D'URGENCE

Stabilisation et restauration
<i>Prévention d'un sur accident (effet domino)</i>
Adéquation du plan de retour à la normale et de remise en route, l'exécution de ce plan (formation des intervenants par rapport aux plans d'intervention, réalisme du plan), adéquation des mesures prises par rapport au plan prévu, adéquation des mesures prévues en cas de situation dégradée dans le personnel et les moyens prévus, performance des opérateurs (cf <i>partie organisation et personnel et maîtrise des procédés</i>)
<i>Actions d'intervention (attaque du feu ...)</i>
La planification et la mise en place de l'inspection
<i>Opération de secours aux victimes</i>
Evacuation appropriée des victimes
<i>Les services de soins, aspect médicaux</i>
Les premiers secours (l'adéquation des premiers secours par rapport à l'urgence de la situation, prévention de conséquences plus importantes au niveau des victimes grâce aux premiers secours), la logistique sur les lieux de l'accident (disponibilité des transports, équipements, personnels, adéquation du plan par rapport à ce qui était prévu), transmission de l'information aux services médicaux (équipement, personnel, formation), délai de réponse (adéquation par rapport à la situation), le traitement médical,
<i>Dissémination de l'information</i>
Dissémination aux parties intéressées, intégration de la diffusion de ces informations dans les plans d'urgence, information des familles des victimes, information aux autorités compétentes, média et public (information du public et des médias, point de contact/communication pour les médias)

2.5 POLITIQUE DE PREVENTION DES RISQUES D'ACCIDENTS MAJEURS

Politique de prévention des accidents majeurs
<i>La Politique</i>
<p>La politique est-elle clairement statuée ?</p> <p>La politique de sécurité (au sens large) est-elle à jour ?</p> <p>Sa formulation est-elle adéquate ?</p> <p>La politique est-elle assez générale pour couvrir les problèmes susceptibles d'être rencontrés ?</p> <p>La politique est-elle intégrée à d'autres politiques ? Comment ?</p>
<i>Mise en place de la politique</i>
<p>Existence de méthodes, critères et analyse, à savoir des méthodes pour la mise en place de la politique, de critères pour évaluer les conséquences des accidents à court, moyen et long terme.</p> <p>Définition des responsabilités, à savoir une définition claire pour chacun dans le cadre de cette politique, de son rôle, la compréhension et l'acceptation par chacun de ces responsabilités et rôle par rapport à la mise en place de la politique, la vérification de ce dernier point de manière appropriée.</p> <p>Flux d'information, à savoir l'information nécessaire au management pour mettre en œuvre la politique, la communication de l'information nécessaire, les circuits de circulation de l'information, le traitement de l'information concernant des problèmes de mise en place connus de ceux qui édictent la politique.</p> <p>Guide et directives, à savoir la bonne mise en évidence des activités de management des risques (comme l'analyse de risque, le contrôle des risques etc) dans les procédures et guides de mises en place, la clarté de ces guides.</p> <p>Services fournis par le management (voir dans support à la supervision dans maîtrise des procédés).</p> <p>Gestion des budgets à savoir l'adéquation des budgets par rapport aux besoins par le département chargé de la mise en place effective de la politique, l'adéquation des budgets par rapport aux entités qui mettent en place une partie spécifique de la politique.</p> <p>Gestion des retards et délais dans l'application de la politique, notamment lorsque des retards sont consciemment pris.</p> <p>Leadership et exemplarité, par rapport à l'importance de la mise en place de la politique.</p>

2.6 ANALYSE DE RISQUE

Les critères de l'analyse de risque
<i>Concepts et spécifications</i>
<p>Les informations qui sont fournies pour réaliser l'analyse de risque (qualité de l'information sur les substances dangereuses, les procédés, les dispositifs mis en œuvre, etc... grâce au système d'information : connaissances existantes ou pas, communication sur ces connaissances en interne et externe).</p> <p>La définition du niveau de risque accepté ainsi que les critères et méthodes utilisées (HAZOP, AMDEC etc), quantification, la définition de qui fait quoi et quand, l'insistance sur les critères de solutions alternatives par la direction en matières de choix et décisions sur les risques, la prise en compte de ces critères en terme de prévention (conception, mesures de protection, signalisation, revue des facteurs humains, procédures, personnel, acceptation du risque), la communication au personnel impliqué des critères d'écriture des procédures, la spécification et application des critères d'approbation et revue des procédures.</p> <p>L'application de l'analyse de risque à tous les niveaux du cycle de vie de l'installation (production, maintenance, conception etc).</p>
<i>Spécifications</i>
Les réglementations et normes applicables (de groupe, national, des clients, internes...)
<i>Conceptions et développements (options pour la maîtrise des risques)</i>
<p>La manière dont l'énergie est utilisée et maîtrisée (substitution par une énergie plus sûre, limitation au strict minimum, moyens de contrôle techniques, automatiques, manuels, signaux d'information par rapport à l'énergie en présence, relâchement de l'énergie en cas d'urgence, adéquation des barrières).</p> <p>La prise en compte du facteur humain (compétences requises, analyse de tâche, évaluation des ressources nécessaires pour les opérateurs et machines, implication des utilisateurs dans la conception, interface machine permettant une interprétation rapide et fiable, évaluation de l'impact des interprétations inadéquates sur l'activité, prise en compte des règles de l'art ergonomique en matière de couleurs, d'affichage etc, évaluation des erreurs humaines possibles et de leur impact sur l'activité).</p> <p><i>La définition de l'inspection et de la maintenance nécessaire à l'installation, à savoir leur planification et mise en place,</i></p> <p>La prise en compte de l'espace où l'installation sera mise en place, à savoir la proximité de locaux occupés, de stockage, etc,</p> <p>Les spécifications liées à l'opérabilité et la préparation de l'installation, à savoir les tests nécessaires des installations avant leur utilisation, les informations nécessaire à la supervision de l'activité en terme de responsabilité et de capacité d'encadrement, l'adéquation des procédures (mise à jour, affichage, lisibilité, contenu), la sélection bien spécifiée du personnel pour l'activité, la formation adéquate par rapport aux compétences requises, la motivation du personnel,</p> <p>La préparation des situations d'urgence,</p> <p>Les audits externes,</p> <p>La prise en compte des cycles de vie de l'installation,</p> <p>L'actualisation de la documentation relative à l'installation,</p> <p>La définition de by-pass rapides possibles dans des situations particulières,</p> <p>La vérification que toutes les mesures spécifiées en conception sont bien mises en place</p>

2.7 RETOUR D'EXPERIENCE

Cette activité fait partie du système d'information

La collecte des données (planification de la collecte, diagnostic extérieur, incident, accident, apprendre par le regard extérieur comme les sous-traitants mais aussi des suggestions des employés, exploitation des inspections),

L'analyse des données (système de priorité, statistiques, utilisation des données pour l'information à l'encadrement),

L'opportunité de faire une analyse de risque à partir des données,

Audit du fonctionnement de ce système de gestion du retour d'expérience.

2.8 AUDIT ET REVUE DE DIRECTION

Revue de programme

A savoir la définition des objectifs et moyens associés du système de revue (l'articulation des programmes avec la politique, la spécification de ce qui est requis par le processus d'assurance, les benchmarks sur lesquels se baser pour évaluer les processus), la description des processus d'assurance (sont ils documentés adéquatement, disponibilité et évaluation des données opérationnelles en provenance du terrain), le contrôle, audit et comparaison des objectifs mesurés (comparaison des résultats du terrain avec les objectifs du programme)

Organisation du système d'audit, à savoir formation des auditeurs, comité de pilotage.