

BUT GENIE CHIMIE – GENIE DES PROCEDES

Année univ. 2024 - 2025

Module « Evaluation des
risques »

IUT de ROUEN

Département Génie Chimique

Cours de :

Mme CONDE Doussou



CONDE Doussou
Sécurité

Cours de sécurité niveau BUT 2, module évaluation des risques

Objectifs du modules :

- Compréhension approfondie des phénomènes liés aux dangers industriels
- Notion de protection, d'étiquetage : réglementation CLP
- Introduction aux méthodes d'analyse de risque et connaissance des processus de danger
- Connaissance de la réglementation ICPE/ SEVESO et TMD
- Initier une démarche d'évaluation des risques

La compréhension du risque industriel qu'il soit conventionnel, chimique ou radiologique comprend une évolution chronologique sur vos 3 années de BUT :

- BUT 1 : module sécurité
- BUT 2 : module « sécurité industrielle ou évaluation des risques »
- BUT 3: module « risque majeur » (risque chimique et risque radiologique)

Introduction au cours :

Sécurité industrielle :

La **sécurité industrielle** se réfère à l'ensemble des pratiques, des normes, et des réglementations mises en œuvre pour prévenir les accidents industriels et limiter les impacts des incidents lorsque ceux-ci surviennent. Elle vise à protéger les travailleurs, les populations environnantes, et l'environnement des dangers associés aux activités industrielles, comme les explosions, les incendies, les fuites de substances dangereuses, et d'autres situations de risques majeurs.

Périmètre de la sécurité industrielle

La sécurité industrielle couvre :

1. **Prévention des accidents** : Mise en place de mesures et de contrôles pour éviter l'apparition de situations dangereuses (ex : formation du personnel, maintenance des équipements).

2. **Protection des travailleurs et des installations** : Aménagement des installations pour garantir des conditions de travail sécurisées et minimiser les risques (ex : équipements de protection, systèmes de détection de gaz, plans d'évacuation).
3. **Gestion des risques et interventions d'urgence** : Élaboration de plans d'intervention en cas d'accident (plans de secours, procédures de confinement, coordination avec les services de secours).
4. **Réglementations et conformité** : Suivi des réglementations nationales et internationales, comme les directives SEVESO, qui imposent des obligations strictes aux industries manipulant des substances dangereuses.

Périmètre limite

Le périmètre limite de la sécurité industrielle dépend de la **nature des activités industrielles** et de **l'étendue de leurs risques potentiels**. Par exemple :

- Pour les **sites SEVESO**, un périmètre de sécurité (ou zone de danger) est défini autour des installations pour prévenir l'exposition des populations aux effets d'un accident industriel.
- La distance des zones résidentielles ou autres infrastructures sensibles est réglementée en fonction de l'aléa (intensité et fréquence des risques).

Table des matières

Introduction au cours :.....	1
Sécurité industrielle :	1
Titre I : Combustion, explosions et accidents industriels	6
1° Combustion et explosimètre.....	6
A . La combustion.....	6
B – Explosimétrie	15
2° Modélisation des effets des feux et des explosions	22
A. Le flux thermique.....	23
B. La modélisation des explosions et détermination de leurs effets.....	24
3° Les accidents industriels	26
A - L'UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion)	27
B - Le BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)	28
C - Le Boilover	29
Titre II : Introduction aux méthodes d'analyse des risques et le processus de danger ..	34
1° Le risque et les dangers	34
A – Définitions	34
B - Évaluation	35
C - Les propositions de lois de danger	36
2° Quelques méthodes d'analyse des risques	45
A - Méthodologie générale : les étapes d'une analyse des risques	45
3° Les différentes méthodes d'analyse des risques.....	47
4° Choix des méthodes d'analyse des risques.....	51
5° Exploitation des méthodes d'analyse des risques.....	54
6° L'analyse préliminaire des risques (APR)	57
A - Mise en œuvre de l'APR	57
B - Démarche	57
7° La méthode HAZOP.....	60
A- Objectifs	60
B - Principe	60
C - Exemple de la méthode HAZOP.....	61
8° Méthodes des arbres et du nœud papillon	62

A - Arbre des défaillances (FTA - Fault Tree Analysis)	62
B - Éléments et symboles de représentation	62
C - Principes d'élaboration	64
D - Mise en œuvre.....	64
E - Exploitation de l'arbre.....	65
2° Arbres des évènements	66
A - Objet de la méthode de l'arbre des événements.....	66
B - Principe de la méthode	66
C - Application	67
D - Exploitation de l'arbre	67
3° Méthode du nœud papillon	68
A - Objet de la méthode	68
B - Principe de la méthode	69
C - Application de la méthode	69
9° L'analyse source / flux / cible/ : méthode MADS - MOSAR.....	71
A - Analyse macroscopique (Module A)	71
B - Analyse microscopique (Module B)	72
C - Conclusion	73
D - Étapes d'utilisation de MADS-MOSAR dans l'industrie.....	74
Titre III : Réglementation	77
1° La réglementation ICPE / SEVESO	77
A - Historique et réglementation	77
B - Nomenclature des ICPE (cf annexe 1) :.....	80
2° Le PPRT issu de la loi « risque » de 2003 dite loi Bachelot.....	87
A - Dispositions applicables en zone de maîtrise de l'urbanisation future	88
B - Dispositions applicables en secteur de mesures foncières	89
3° POI / PPI / ETARE.	90
A - Le plan d'opération interne (POI).....	90
B - Le Plan Particulier d'Intervention (PPI)	90
C - Le Plan d'Établissement Répertoire (ETARE)	91
4° La réglementation TMD.....	92
A - Principe de la réglementation	92

B-Catégories de Matières Dangereuses.....	93
C- Signalisation et étiquetage des véhicules.....	94
E. Les Documents de Transport à Bord des Véhicules.....	98
E - Les documents de transport à bord des véhicules de transport	98
F - Aide à l'intervention : le guide du pompier genevois	98

Titre I : Combustion, explosions et accidents industriels

1° Combustion et explosimètre

A. La combustion

1- Une réaction radicalaire

La **réaction radicalaire** est un mécanisme chimique central dans le processus de **combustion**. Lors de la combustion, des radicaux libres, qui sont des atomes ou molécules avec des électrons non appariés, se forment et interagissent activement avec d'autres molécules pour propager la réaction. Ce type de réaction est caractérisé par son enchaînement rapide, où les radicaux créés lors d'une étape de la combustion servent à alimenter d'autres étapes, conduisant à une réaction en chaîne.

Mécanisme de la réaction radicalaire dans la combustion :

1. Initiation :

La réaction de combustion commence lorsque le combustible est chauffé à une température suffisante pour rompre certaines liaisons chimiques et créer des radicaux libres. Par exemple, dans le cas du méthane (CH_4), l'énergie thermique peut rompre la liaison entre un atome d'hydrogène et le carbone, générant un radical méthyl ($\text{CH}_3\bullet$).

2. Propagation :

Les radicaux libres générés réagissent alors avec des molécules de l'environnement, créant de nouveaux radicaux. Ces nouvelles espèces radicalaires poursuivent la réaction en chaîne. Par exemple :

- Un radical méthyl ($\text{CH}_3\bullet$) peut réagir avec l'oxygène moléculaire (O_2) pour former un radical hydroxyle ($\text{OH}\bullet$), qui est l'un des radicaux les plus réactifs dans la combustion.
- $\text{OH}\bullet$ peut ensuite réagir avec d'autres molécules de combustible, générant davantage de radicaux comme $\text{H}\bullet$ (radical hydrogène).

3. Termination (extinction) :

La réaction radicalaire prend fin lorsque deux radicaux libres se combinent pour former une molécule stable, ou lorsqu'il n'y a plus assez de combustible ou d'oxygène pour entretenir la réaction. Par exemple, deux radicaux $\text{H}\bullet$ peuvent se combiner pour former une molécule stable de dihydrogène (H_2).

Exemples de radicaux libres dans la combustion :

- **Radical hydrogène ($\text{H}\bullet$)**
- **Radical hydroxyle ($\text{OH}\bullet$)**
- **Radical méthyl ($\text{CH}_3\bullet$)**

- **Radical oxygène (O•)**

Ces radicaux sont essentiels pour maintenir la combustion. Ce sont eux qui rendent la réaction de combustion auto-entretenu, car ils créent constamment de nouveaux radicaux tant qu'il y a du combustible et du comburant disponibles.

2 - Le tétraèdre du feu

Le **tétraèdre du feu** complète le traditionnel **triangle du feu** (combustible, comburant, énergie d'activation) en ajoutant un quatrième élément : la **réaction en chaîne radicalaire**. Ce modèle est essentiel pour comprendre la complexité de la combustion dans des environnements industriels complexes.

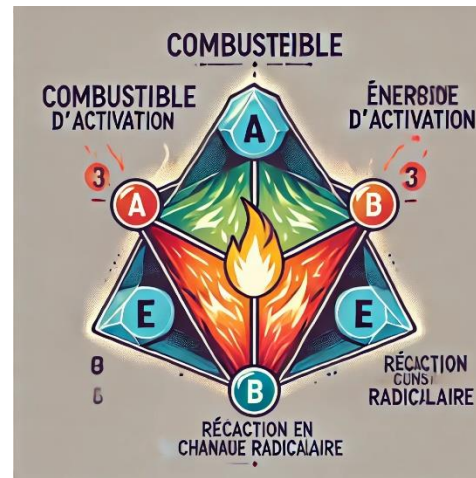
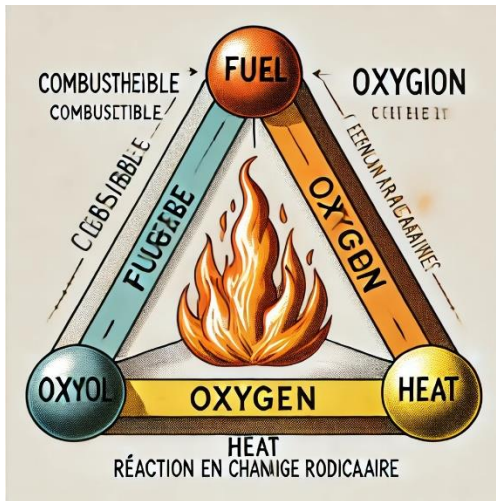
Les systèmes modernes de **suppression d'incendie** s'attaquent spécifiquement à ces réactions en chaîne en libérant des agents chimiques qui neutralisent les radicaux libres, réduisant ainsi la propagation des flammes.

Comment ces technologies attaquent les radicaux pour éteindre le feu :

Les systèmes d'extinction par aérosols ou agents propres n'agissent pas en réduisant directement la température ou en supprimant l'oxygène, comme le feraient les extincteurs traditionnels (comme ceux à eau ou à mousse). Au lieu de cela, ils agissent directement sur le **mécanisme radicalaire** de la combustion.

- **Agents chimiques propres** (FM-200, Novec 1230) : Ces gaz sont projetés dans l'atmosphère de la zone enflammée et interagissent avec les radicaux libres dans la réaction de combustion. Ils interfèrent avec la chaîne radicalaire en neutralisant les radicaux tels que **OH•, H•, O•**, qui sont essentiels pour que la réaction de combustion se poursuive. En perturbant cette réaction chimique en chaîne, ils stoppent le feu rapidement, même dans des zones confinées, tout en préservant les équipements électroniques et en minimisant les résidus.
 - **FM-200 (Heptafluoropropane)** : Ce gaz libéré dans l'atmosphère interrompt la chaîne radicalaire en absorbant l'énergie des radicaux libres, empêchant ainsi la réaction en chaîne de la combustion. Il est particulièrement utilisé dans les **centres de données, les musées, et les environnements électroniques sensibles**, car il ne laisse aucun résidu après son application.
 - **Novec 1230** : Un autre agent propre qui agit de manière similaire en s'attaquant aux radicaux libres. Il a un faible impact environnemental et est sans danger pour les équipements, ce qui en fait une solution idéale dans des environnements sensibles. Il peut être utilisé dans les systèmes

d'extinction automatiques pour des applications industrielles et commerciales.



Il existe également d'autres systèmes d'extinction comme le générateur d'aérosol.

Exemple de Générateur d'aérosol :

- **Stat-X** : Ce système d'extinction par **aérosol condensé** est une autre technologie moderne. Lorsqu'un feu est détecté, le système génère un aérosol composé de particules très fines de sels de potassium. Ces particules interagissent avec les radicaux libres présents dans la flamme et les neutralisent. En se liant aux radicaux libres **OH• et H•**, ces particules empêchent les réactions en chaîne qui entretiennent le feu. Ce système est particulièrement efficace dans les environnements fermés comme les armoires électriques, les salles de serveurs, ou les moteurs de véhicules.
 - **Fonctionnement** : Le générateur libère un nuage d'aérosol extrêmement dense qui se disperse rapidement dans la zone touchée. Les particules se lient aux radicaux et les empêchent d'alimenter le feu. Ce processus n'a pas besoin de refroidir ou d'étouffer l'incendie : il agit directement sur le cœur chimique de la réaction radicalaire.

Avantages de ces systèmes modernes :

1. **Interruption rapide de la combustion** : En attaquant directement les radicaux, la combustion est stoppée presque immédiatement après l'activation du système.
2. **Aucun résidu** : Contrairement aux systèmes traditionnels (eau, mousse), ces agents ne laissent pas de résidus. Cela signifie qu'ils sont idéaux pour protéger

les équipements sensibles, comme les **systèmes électroniques** ou les archives précieuses.

3. **Non toxique et écologique** : Ces systèmes (comme Novec 1230) ont un faible impact environnemental. Ils n'épuisent pas la couche d'ozone et sont sans danger pour les humains lorsqu'ils sont utilisés à des concentrations appropriées.
4. **Application dans des espaces confinés** : Ces agents sont particulièrement efficaces dans des environnements confinés où d'autres méthodes de lutte contre le feu (comme l'eau ou la mousse) ne seraient pas viables.

Ci-dessous une illustration d'un **système moderne de suppression d'incendie** utilisant la technologie d'aérosol, comme le **Stat-X**, dans un environnement sensible tel qu'une salle de serveurs. Le système libère un nuage dense de particules fines qui interagissent avec les flammes en neutralisant les radicaux libres, ce qui arrête la combustion sans endommager les équipements électroniques.



Figure 1: photo système moderne d'extinction

3 - Les types de flamme

Une **flamme** est le résultat visible d'une combustion, qui est une réaction chimique entre un combustible et un comburant (généralement l'oxygène de l'air). Cette réaction libère de la chaleur, de la lumière, et d'autres produits comme le dioxyde de carbone et

la vapeur d'eau. Une flamme est donc la partie lumineuse et chauffante du feu, constituée de gaz en combustion. Sa couleur et sa forme dépendent des conditions de la combustion (complet/incomplet) et des éléments impliqués.

Les types de flammes :

1. Flamme de combustion complète (flamme bleue) :

- **Caractéristique :** Elle est généralement bleue, indique une combustion complète, et se produit lorsqu'il y a suffisamment d'oxygène pour brûler tout le combustible sans production de suie ou de fumée.
- **Exemple :** Les brûleurs à gaz naturel ou les flammes des cuisinières à gaz.
- **Température :** Très chaude (jusqu'à 1 500 °C).

2. Flamme de combustion incomplète (flamme jaune/orange) :

- **Caractéristique :** Elle est souvent jaune ou orange et produit de la suie (carbone non brûlé). Cela indique une combustion incomplète, souvent causée par un manque d'oxygène.
- **Exemple :** La flamme des bougies ou des feux de bois.
- **Température :** Moins chaude qu'une flamme bleue (environ 1 000 °C).

3. Flamme verte :

- **Caractéristique :** Une flamme verte apparaît généralement lors de la combustion de certains produits chimiques, comme les sels de cuivre. Elle n'indique pas nécessairement un type de combustion spécifique mais un effet de coloration dû aux éléments chimiques.
- **Exemple :** Tests chimiques en laboratoire ou feux d'artifice avec des sels de cuivre.
- **Température :** Variable selon les produits.

4. Flamme rouge :

- **Caractéristique :** Une flamme rouge est plus froide que les autres et est souvent associée à une combustion très incomplète, avec production importante de fumée.
- **Exemple :** Feux de bois mal alimentés en oxygène ou de grandes flammes de carburants lourds.
- **Température :** Plus basse (600–800 °C).

5. Flamme blanche :

- **Caractéristique** : Elle est extrêmement chaude et peut apparaître dans certaines conditions, comme l'oxycoupage ou l'utilisation de gaz hautement combustibles.
- **Exemple** : Torches d'acétylène en soudure ou dans des procédés industriels à haute température.
- **Température** : Très élevée (jusqu'à 3 500 °C).

6. Flamme violette :

- **Caractéristique** : Les flammes violettes peuvent être produites par certains produits chimiques comme le potassium, dans des environnements à haute énergie.
- **Exemple** : Feux d'artifice ou certaines réactions chimiques.
- **Température** : Variable selon les conditions.

Différence entre combustion complète et incomplète :

- **Combustion complète** : Tous les combustibles sont brûlés avec assez d'oxygène, ce qui produit principalement du dioxyde de carbone et de l'eau, et la flamme est généralement bleue.
- **Combustion incomplète** : Il y a un manque d'oxygène, ce qui entraîne la production de monoxyde de carbone et de suie, et la flamme tend à être jaune ou orange.

4 - Etat de la matière et combustion

La combustion est une réaction chimique qui met en jeu la matière dans ses différents états (solide, liquide, gaz). Comprendre la relation entre les états de la matière et la combustion est essentiel pour analyser comment différents types de matériaux brûlent. Voici un aperçu de cette relation :

Les différents états de la matière

1. **Solide** : Les particules sont disposées de manière compacte et ont une faible énergie cinétique. Les matériaux solides, comme le bois ou le charbon, ont une forme définie et ne s'écoulent pas.
2. **Liquide** : Les particules sont moins compactes que dans les solides et ont une plus grande liberté de mouvement. Les liquides, comme l'essence ou l'huile, s'écoulent et prennent la forme de leur contenant.

3. **Gaz** : Les particules sont très éloignées les unes des autres et ont une grande liberté de mouvement. Les gaz, comme le méthane ou l'hydrogène, se répandent dans tout l'espace disponible.
4. **Plasma** (rare dans la combustion courante) : Il s'agit d'un état où les particules sont ionisées et très énergétiques. On le trouve dans des environnements à très haute énergie, comme le Soleil ou les éclairs.

5 - La propagation du feu

La propagation du feu désigne le processus par lequel le feu se propage d'une zone à une autre. Comprendre ce phénomène est essentiel pour la gestion des incendies, tant pour leur prévention que pour leur extinction. La propagation du feu dépend de plusieurs facteurs, notamment la nature des matériaux combustibles, les conditions environnementales, et les mécanismes par lesquels la chaleur se transmet.

Les principaux modes de propagation du feu

Il existe trois principaux modes par lesquels le feu se propage :

1. La conduction :

- **Description** : La chaleur se transmet par contact direct à travers des matériaux solides.
- **Exemple** : Dans un bâtiment en feu, la chaleur se propage à travers les murs, les tuyaux métalliques, et d'autres structures solides, augmentant la température des matériaux jusqu'à ce qu'ils atteignent leur point d'inflammation.
- **Facteur influent** : La conductivité thermique des matériaux. Les métaux conduisent la chaleur beaucoup plus rapidement que les matériaux comme le bois ou le plastique.

2. La convection :

- **Description** : La chaleur se transmet par des mouvements de fluides, généralement de l'air ou des gaz chauds. Lorsque l'air est chauffé par un feu, il devient moins dense et monte, transportant la chaleur vers d'autres zones.
- **Exemple** : Dans un incendie de forêt, l'air chaud monte, entraînant des courants d'air qui propagent le feu à la cime des arbres, ou bien à travers un bâtiment où les flammes se déplacent vers le haut des étages.

- **Facteur influent** : La vitesse des courants d'air. Plus le mouvement d'air est rapide, plus la chaleur peut être transportée rapidement à d'autres zones.

3. Le rayonnement thermique :

- **Description** : La chaleur se propage sous forme d'ondes électromagnétiques (rayonnement infrarouge), même à travers le vide. Les objets à proximité du feu absorbent cette énergie et s'échauffent, parfois jusqu'à atteindre leur point d'auto-inflammation.
- **Exemple** : Un objet inflammable situé près d'un feu, même s'il n'est pas en contact direct avec les flammes, peut s'échauffer et prendre feu à cause du rayonnement thermique.
- **Facteur influent** : La distance et l'obstacle. Le rayonnement thermique diminue en intensité avec la distance, et certains matériaux peuvent bloquer ou absorber ce rayonnement.

4. Projection :

- Propagation du feu par la projection de particules enflammées (comme des braises, étincelles ou fragments brûlants) qui tombent sur d'autres surfaces inflammables, propageant ainsi l'incendie à de nouveaux endroits.

1. Nature des matériaux :

- Les matériaux combustibles (bois, tissus, papiers) s'enflamment plus facilement que les matériaux incombustibles (métaux, béton).
- Les matériaux volatils (essence, solvants) se vaporisent rapidement et leurs vapeurs peuvent s'enflammer instantanément.

2. Température :

- Plus la température est élevée, plus la propagation du feu est rapide. Les objets proches d'une source de chaleur s'échauffent et atteignent plus vite leur point d'inflammation.

3. Vent et courants d'air :

- Le vent joue un rôle clé dans la propagation du feu, surtout en extérieur. Il transporte les braises et les gaz chauds vers de nouvelles zones, permettant au feu de s'étendre plus rapidement.
- En intérieur, des courants d'air peuvent également accélérer la propagation des flammes et des gaz chauds d'un étage à un autre ou d'une pièce à l'autre.

4. Humidité :

- L'humidité dans les matériaux ou l'environnement ralentit la propagation du feu. Par exemple, un bois humide mettra plus de temps à s'enflammer qu'un bois sec.
- En extérieur, la pluie ou une forte humidité peut limiter la vitesse de propagation d'un incendie de forêt.

5. Topographie :

- Les pentes et les reliefs influencent la propagation du feu, notamment dans les incendies de forêt. Sur une pente ascendante, le feu se propage plus rapidement, car la chaleur et les gaz chauds montent naturellement, échauffant les combustibles en amont.
- À l'inverse, sur une pente descendante, le feu se propage plus lentement.

6. Discontinuités dans les matériaux :

- Les barrières naturelles ou artificielles (murs coupe-feu, routes, rivières) peuvent empêcher ou ralentir la propagation du feu en interrompant la chaîne de combustible ou en bloquant la transmission de chaleur.

Phénomènes spécifiques liés à la propagation du feu

1. Flashover :

- Le "flashover" se produit lorsque toutes les surfaces combustibles dans une pièce atteignent simultanément leur point d'auto-inflammation, provoquant un embrasement général de la pièce.
- Ce phénomène marque un tournant dans la propagation d'un incendie, car la température augmente brusquement et le feu se propage extrêmement rapidement.

2. Backdraft :

- Le "backdraft" est une explosion qui se produit lorsqu'un feu couvant dans une zone fermée reçoit soudainement un apport d'oxygène (par exemple, lorsqu'une porte ou une fenêtre est ouverte). Cela provoque une combustion instantanée des gaz accumulés et une propagation rapide du feu.

B – Explosimétrie

L'**explosimétrie** est la science qui étudie et mesure la concentration de gaz ou de vapeurs inflammables dans l'air afin d'évaluer les risques d'explosion. Un **explosimètre** est l'instrument utilisé pour mesurer ces concentrations et déterminer si elles se situent dans une plage dangereuse pour l'explosion. L'objectif est de prévenir les explosions dans les environnements où des gaz combustibles ou des vapeurs inflammables peuvent s'accumuler.

1 - Les explosions de gaz ou de vapeurs

Les explosions de gaz ou de vapeurs surviennent lorsqu'un mélange de gaz combustible et d'oxygène (ou d'un autre comburant) atteint une concentration critique et entre en contact avec une source d'ignition (étincelle, flamme, surface chaude).

1.1 Mécanisme d'une explosion de gaz ou de vapeurs :

- **Mélange inflammable** : Pour qu'une explosion de gaz ou de vapeurs se produise, la concentration du gaz doit être comprise entre deux limites :
 - **Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)** : C'est la concentration minimale de gaz dans l'air en dessous de laquelle le mélange est trop pauvre en combustible pour exploser.
 - **Limite Supérieure d'Explosivité (LSE)** : C'est la concentration maximale de gaz dans l'air au-delà de laquelle il y a trop de gaz pour qu'une explosion se produise (manque d'oxygène pour supporter la combustion).

Un mélange inflammable se situe donc entre la LIE et la LSE. Si ce mélange rencontre une source d'ignition, une explosion peut se produire.

Les principaux gaz combustibles susceptibles de provoquer des explosions :

- **Méthane (CH₄)** : Utilisé dans le gaz naturel, il est très présent dans les mines de charbon et dans les habitations.
- **Propane (C₃H₈)** et **butane (C₄H₁₀)** : Utilisés pour le chauffage domestique ou dans les bonbonnes de gaz.
- **Hydrogène (H₂)** : Utilisé dans certaines industries chimiques et métallurgiques.
- **Vapeurs d'hydrocarbures** : Par exemple, les vapeurs d'essence ou de solvants dans les environnements industriels.

1.2 Conditions nécessaires pour une explosion de gaz ou de vapeurs

Pour qu'une explosion de gaz ou de vapeurs se produise, trois conditions doivent être réunies :

1. **Un combustible** : Un gaz ou une vapeur inflammable.
 - Exemples de gaz inflammables : méthane, propane, butane, hydrogène, acétylène.
 - Exemples de vapeurs inflammables : vapeurs d'essence, de solvants (acétone, toluène), de peintures.
2. **Un comburant** : Habituellement, l'oxygène de l'air (bien que d'autres comburants, comme le chlore, puissent également participer à la combustion).
3. **Une source d'ignition** : Cela peut être une flamme nue, une étincelle électrique, une surface chauffée, ou une décharge électrostatique.

En plus de ces trois conditions, la concentration du gaz ou de la vapeur dans l'air doit être dans une plage spécifique, appelée **plage d'explosivité**, pour que l'explosion soit possible.

Limites d'explosivité

Chaque gaz ou vapeur inflammable possède une plage d'explosivité définie par deux limites :

1. **Limite inférieure d'explosivité (LIE) :**
 - C'est la concentration minimale de gaz ou de vapeurs dans l'air en dessous de laquelle le mélange est trop pauvre en combustible pour s'enflammer.
 - Par exemple, pour le méthane, la LIE est d'environ 5 % en volume dans l'air.
2. **Limite supérieure d'explosivité (LSE) :**
 - C'est la concentration maximale de gaz ou de vapeurs dans l'air au-delà de laquelle il y a trop de gaz pour que l'explosion se produise, car l'air manque d'oxygène pour supporter la combustion.
 - Par exemple, pour le méthane, la LSE est d'environ 15 % en volume dans l'air.

Si la concentration du gaz ou de la vapeur est située entre ces deux limites (LIE et LSE), le mélange est explosif en présence d'une source d'ignition.

Mécanisme d'une explosion de gaz ou de vapeurs

1. **Accumulation de gaz ou de vapeurs :**
 - Lorsque du gaz ou des vapeurs inflammables s'accumulent dans un espace confiné (par exemple, une pièce, une cuve, un sous-sol, ou un

bâtiment mal ventilé), il existe un risque que ce gaz atteigne une concentration dans la plage d'explosivité.

2. Source d'ignition :

- Si ce mélange inflammable est exposé à une source d'ignition (comme une étincelle électrique, une cigarette allumée, ou un appareil défectueux), l'explosion peut survenir.
- L'inflammation d'une petite partie du mélange gazeux entraîne une réaction en chaîne, où le reste du mélange s'enflamme très rapidement. Cela provoque une augmentation brutale de la température et de la pression, créant une onde de choc.

3. Expansion des gaz :

- L'explosion libre des quantités massives de gaz en expansion rapide, ce qui provoque une onde de choc capable de détruire des structures environnantes, de projeter des débris et de causer des blessures graves aux personnes présentes.

Exemples courants d'explosions de gaz ou de vapeurs

1. Explosions de gaz naturel (méthane) :

- Le méthane, principal composant du gaz naturel, est utilisé pour le chauffage domestique et industriel. Une fuite de gaz naturel dans une maison ou un bâtiment peut entraîner une accumulation de méthane. Si le mélange gaz/air atteint la plage d'explosivité (5 % à 15 %) et qu'il y a une source d'ignition, une explosion violente peut se produire.

2. Explosions de propane ou de butane :

- Le propane et le butane sont couramment utilisés dans les bonbonnes de gaz pour les réchauds de camping, les barbecues, et dans certains systèmes de chauffage. Une fuite non détectée dans un espace fermé peut créer un mélange explosif.

3. Explosions de vapeurs d'essence :

- Les vapeurs d'essence sont extrêmement inflammables et peuvent s'accumuler dans des garages, des stations-service, ou des zones où l'essence est stockée. Ces vapeurs peuvent exploser si elles rencontrent une source d'ignition.

4. Explosions industrielles (solvants et produits chimiques) :

- Dans les environnements industriels, des produits comme les solvants, les peintures ou les produits chimiques volatils peuvent émettre des vapeurs inflammables. Si la ventilation est insuffisante, ces vapeurs peuvent s'accumuler et provoquer une explosion en cas d'étincelle ou d'équipement défectueux.

Prévention des explosions de gaz ou de vapeurs

1. Détection précoce avec l'explosimètre :

- L'explosimètre est un outil essentiel pour prévenir les explosions de gaz ou de vapeurs. Il mesure la concentration de gaz inflammables dans l'air et avertit lorsqu'un seuil critique est atteint (par exemple, 10 % de la LIE). Cela permet de prendre des mesures correctives (ventilation, évacuation, arrêt des machines) avant que le mélange ne devienne dangereux.

2. Ventilation adéquate :

- Il est important de ventiler correctement les espaces fermés où des gaz ou des vapeurs inflammables peuvent être présents. Cela permet de disperser les gaz et de maintenir leur concentration en dessous de la LIE, empêchant ainsi une explosion.

3. Surveillance des équipements :

- Dans les environnements industriels, les systèmes de sécurité doivent être mis en place pour surveiller les fuites de gaz ou de produits chimiques volatils. Les capteurs de gaz et les systèmes d'arrêt automatique sont couramment utilisés pour détecter et prévenir les situations à risque.

4. Contrôle des sources d'ignition :

- Limiter les sources d'ignition dans les zones à risque est crucial. Cela comprend le contrôle des étincelles électriques, des appareils mal entretenus, et des matériaux chauds pouvant provoquer une inflammation.

2 - Les autres types d'explosion

Outre les explosions de gaz ou de vapeurs, il existe d'autres types d'explosions qui se produisent dans différents contextes industriels, chimiques, ou mécaniques. Ces explosions résultent de divers phénomènes, tels que la combustion de poussières, les

réactions chimiques exothermiques, ou des ruptures physiques dues à des surpressions.

Voici un aperçu des principaux types d'explosion autres que celles liées aux gaz ou aux vapeurs :

2.1 Explosion de poussières

Les **explosions de poussières** se produisent lorsque des particules solides très fines sont dispersées dans l'air et entrent en contact avec une source d'ignition. Ces explosions peuvent être extrêmement violentes et se produire dans divers environnements industriels où des matériaux en poudre ou sous forme de particules sont manipulés.

Conditions nécessaires :

- **Poussières combustibles** : Les matériaux combustibles sous forme de poussières peuvent être organiques (farine, sucre, céréales, bois) ou métalliques (aluminium, magnésium). Ils doivent être suffisamment fins et légers pour être suspendus dans l'air.
- **Concentration de poussières** : Une concentration critique de poussières doit être présente dans l'air pour que l'explosion soit possible. La poussière doit être suffisamment dispersée pour former un nuage explosif.
- **Source d'ignition** : Cela peut être une étincelle, une flamme, une surface chaude, ou une décharge électrostatique. Les poussières peuvent s'enflammer rapidement en raison de leur grande surface d'exposition à l'air.

Exemples :

- **Silos à grains** : Les silos de stockage de céréales ou de farine sont particulièrement sujets aux explosions de poussières lorsque des nuages de particules se forment pendant le remplissage ou le déplacement des matières.
- **Usines de bois** : Les poussières de bois produites lors de la découpe ou du ponçage peuvent provoquer des explosions dans des environnements confinés ou mal ventilés.
- **Industries métallurgiques** : Les particules métalliques, notamment d'aluminium ou de magnésium, peuvent être extrêmement inflammables et exploser en cas de dispersion dans l'air.

Prévention :

- **Ventilation** : Une bonne ventilation permet de réduire la concentration de poussières dans l'air et empêche leur accumulation.

- **Nettoyage régulier** : Les dépôts de poussières doivent être éliminés régulièrement pour éviter qu'ils ne s'accumulent sur les équipements et surfaces.
- **Équipements antidéflagrants** : Utiliser des équipements électriques et des systèmes de protection adaptés aux environnements où des poussières combustibles sont présentes.

2.2 Explosion mécanique

Les **explosions mécaniques** se produisent lorsqu'un système sous pression subit une rupture soudaine, entraînant une libération violente de la pression accumulée.

Contrairement aux explosions chimiques ou de gaz, ces explosions sont dues à des contraintes physiques excessives sur des équipements comme des réservoirs ou des canalisations.

Conditions nécessaires :

- **Système sous pression** : Un réservoir, une chaudière, ou tout autre système où des gaz, des liquides ou de la vapeur sont maintenus sous haute pression.
- **Défaillance structurelle** : Lorsque la pression dépasse la résistance des matériaux, il y a rupture du contenant, libérant soudainement le contenu sous pression. Cela peut provoquer une onde de choc, des projections de fragments, et des dommages importants.
- **Facteurs déclenchants** : Les explosions mécaniques peuvent être causées par des défaillances de soupapes de sécurité, une surchauffe, une corrosion, ou un entretien inadéquat.

Exemples :

- **Explosion de chaudières** : Les chaudières industrielles sous pression sont susceptibles d'exploser si elles ne sont pas correctement surveillées ou si les soupapes de sécurité ne fonctionnent pas.
- **Rupture de réservoirs de gaz** : Les réservoirs de gaz comprimé, comme ceux utilisés pour l'oxygène, l'azote ou les gaz industriels, peuvent exploser si la pression interne dépasse les tolérances structurelles.

Prévention :

- **Inspection régulière** : Il est crucial de vérifier régulièrement l'état des équipements sous pression, de détecter les signes de corrosion ou de fatigue des matériaux.
- **Soupapes de sécurité** : Installer des soupapes de décharge pour éviter les surpressions et permettre une libération contrôlée en cas de problème.

- **Surveillance des paramètres** : Utiliser des systèmes de surveillance pour suivre la température et la pression dans les systèmes critiques.

2.3 Explosion chimique

Les **explosions chimiques** sont le résultat de réactions chimiques violentes qui libèrent une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur, de gaz, et parfois d'ondes de choc. Ces explosions peuvent se produire lorsqu'un mélange de produits chimiques incompatibles réagit de manière incontrôlée, ou lorsque des composés instables se décomposent soudainement.

Conditions nécessaires :

- **Réaction exothermique** : Certaines réactions chimiques dégagent beaucoup d'énergie sous forme de chaleur et peuvent entraîner une explosion si elles ne sont pas contrôlées.
- **Produits chimiques instables** : Certains composés, comme les peroxydes organiques, sont instables et peuvent exploser spontanément sous certaines conditions de chaleur ou de friction.
- **Mélange de produits incompatibles** : La réaction entre deux substances incompatibles peut être violente et entraîner une explosion, notamment dans les industries chimiques.

Exemples :

- **Réaction de peroxydes** : Les peroxydes organiques utilisés dans certaines industries peuvent exploser s'ils sont exposés à des températures élevées ou à des chocs mécaniques.
- **Réactions acide-métal** : La réaction entre certains acides (comme l'acide sulfurique) et des métaux (comme l'aluminium ou le zinc) produit de l'hydrogène gazeux, qui peut exploser.
- **Accidents de laboratoire** : Dans les laboratoires, des mélanges accidentels de produits chimiques incompatibles peuvent provoquer des explosions.

Prévention :

- **Séparation des substances incompatibles** : Il est essentiel de stocker les produits chimiques dans des zones distinctes pour éviter toute réaction accidentelle.
- **Contrôle de la température** : Utiliser des systèmes de refroidissement et des mécanismes de contrôle de la chaleur pour empêcher les réactions exothermiques incontrôlées.

- **Équipements de protection** : Les installations manipulant des produits chimiques dangereux doivent être équipées de dispositifs de protection (enceintes de confinement, soupapes de sécurité, etc.).

2.4 Explosion nucléaire

Les **explosions nucléaires** sont extrêmement rares et résultent de réactions nucléaires, telles que la fission ou la fusion d'atomes. Ces explosions libèrent une énergie colossale sous forme de chaleur, de radiations, et d'ondes de choc. Elles sont principalement associées à des armes nucléaires ou à des accidents dans les centrales nucléaires.

Conditions nécessaires :

- **Réaction en chaîne** : Une explosion nucléaire se produit lorsque la fission ou la fusion d'atomes (comme l'uranium ou le plutonium) déclenche une réaction en chaîne, libérant une énorme quantité d'énergie en très peu de temps.
- **Déclenchement contrôlé** : Les explosions nucléaires contrôlées, comme celles des centrales nucléaires, sont soigneusement gérées pour produire de l'énergie. Une perte de contrôle peut entraîner une explosion catastrophique.

Exemples :

- **Accidents de centrales nucléaires** : Les accidents graves, comme celui de Tchernobyl ou de Fukushima, impliquent des explosions dues à une perte de contrôle des réactions nucléaires.
- **Armes nucléaires** : Les bombes atomiques reposent sur des réactions de fission nucléaire qui libèrent une énergie dévastatrice.

Prévention :

- **Contrôle strict des réacteurs** : Les réacteurs nucléaires sont équipés de systèmes de sécurité pour contrôler la réaction en chaîne et éviter les accidents.
- **Protocole de sécurité rigoureux** : La manipulation de matériaux nucléaires nécessite des précautions extrêmes pour éviter les explosions accidentelles.

2° Modélisation des effets des feux et des explosions

La modélisation des effets des feux et des explosions est essentielle pour évaluer les risques associés aux incendies et aux explosions dans les environnements industriels, urbains et naturels. Ces modèles permettent de simuler et de prédire l'ampleur des effets destructeurs, afin de concevoir des mesures de sécurité appropriées, de réduire les risques pour les personnes, et de limiter les dommages matériels. En France, l'utilisation de ces outils est cruciale dans le cadre de la prévention des accidents

majeurs (sites classés Seveso, industries chimiques, etc.) et dans la planification urbaine pour protéger les infrastructures critiques.

A. Le flux thermique

Le flux thermique fait référence à la quantité de chaleur transférée par unité de temps à travers une surface donnée. Il peut se propager par conduction, convection ou rayonnement. Ce phénomène joue un rôle crucial dans plusieurs domaines, notamment la sécurité des personnes et la résistance des structures dans des environnements exposés à des sources de chaleur intenses, comme les incendies.

1 - Introduction à la notion de flux thermique émis

Le flux thermique émis représente la quantité d'énergie thermique (chaleur) émise par une source chaude. Ce type de flux peut provenir de différents phénomènes, tels que :

- **Les incendies** : Lorsqu'un matériau brûle, il émet de la chaleur sous forme de rayonnement et de convection. La quantité de chaleur émise dépend de la température de la source et de sa nature.
- **Les corps chauds** : Tous les objets émettent un rayonnement thermique proportionnel à leur température (selon la loi de Stefan-Boltzmann).

La formule de base pour calculer le flux thermique rayonnant Φ est la suivante :

$$\Phi = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A$$

où :

- ϵ est l'émissivité de la surface,
- σ est la constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
- T est la température absolue de la source (en kelvins),
- A est la surface de la source émettrice.

2 - Introduction à la notion de flux thermique reçu

Le flux thermique reçu est la quantité de chaleur qui atteint une surface donnée à partir d'une source de chaleur. Ce flux peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que :

- La **distance** de la source de chaleur,
- La **nature** et les propriétés thermiques du matériau qui reçoit le flux (conductivité thermique, capacité thermique),
- Les mécanismes de **convection** ou de **conduction** selon le milieu.

En général, la loi du rayonnement indique que l'intensité du flux thermique reçu diminue avec le carré de la distance de la source :

3 - Les effets sur les personnes

Les effets du flux thermique sur les personnes dépendent de l'intensité et de la durée d'exposition. Ces effets peuvent inclure :

- **Brûlures cutanées** : Un flux thermique élevé peut provoquer des brûlures de différents degrés. Une exposition prolongée à une source de chaleur intense peut entraîner des brûlures graves, voire mortelles.
- **Stress thermique** : L'exposition à une chaleur intense peut provoquer une hyperthermie, où le corps ne parvient plus à réguler sa température interne. Cela peut entraîner des malaises, des coups de chaleur ou des défaillances des organes.
- **Inhalation de gaz chauds** : Dans un environnement en feu, la chaleur peut également affecter les voies respiratoires, provoquant des lésions internes dues à l'inhalation de fumée ou de gaz chauds.

La sécurité thermique des personnes est donc un enjeu crucial dans les environnements à risque.

4 - Les effets sur les structures

Les structures subissent également des effets significatifs sous l'influence de flux thermiques élevés. Ceux-ci peuvent entraîner :

- **La dilatation thermique** : Les matériaux se dilatent lorsqu'ils sont exposés à la chaleur. Si la dilatation est excessive, cela peut causer des fissures ou une déformation des structures.
- **La réduction de la résistance des matériaux** : À haute température, la résistance mécanique des matériaux (comme l'acier ou le béton) diminue, ce qui peut entraîner l'effondrement de la structure.
- **La fusion** : Certains matériaux peuvent atteindre leur point de fusion et perdre complètement leur intégrité structurelle, comme le verre ou les polymères.

B. La modélisation des explosions et détermination de leurs effets

La modélisation des explosions est essentielle pour comprendre, anticiper, et atténuer les effets dévastateurs de ces phénomènes. Elle repose sur des outils scientifiques et des modèles permettant de simuler l'énergie dégagée lors d'une explosion, ainsi que de déterminer ses impacts sur les structures et les personnes.

1. Énergie dégagée

L'énergie dégagée lors d'une explosion est l'une des principales mesures pour quantifier la violence de l'événement. Cette énergie est libérée sous forme de chaleur, de pression et de déformation. Les explosions peuvent être classées en deux catégories principales :

- **Les explosions chimiques** : provoquées par des réactions chimiques, comme celles des explosifs (TNT, C4, etc.). Elles libèrent de grandes quantités d'énergie en un laps de temps très court.
- **Les explosions physiques** : comme une explosion de gaz ou de vapeur d'eau, causée par une surpression dans un contenant.

L'énergie dégagée est souvent mesurée en joules (J) ou en tonnes de TNT équivalent (1 tonne de TNT = 4.18 gigajoules). Lors d'une explosion, l'énergie libérée provoque une onde de choc qui se propage dans l'air et inflige des dégâts proportionnels à l'intensité de l'explosion et à la distance de la source.

2. Outils de modélisation : le modèle équivalent TNT

L'un des outils de modélisation les plus couramment utilisés pour simuler les explosions est le **modèle équivalent TNT**. Ce modèle permet de comparer la puissance d'une explosion à celle d'une charge de TNT de masse équivalente. Le modèle TNT repose sur l'idée que pour diverses explosions, on peut estimer les effets en les comparant à une explosion de TNT, qui a des propriétés bien documentées.

Les étapes pour utiliser le modèle équivalent TNT incluent :

1. **Estimation de l'énergie libérée** : D'abord, il faut connaître l'énergie libérée par l'explosion en question. Cela est fait en mesurant la quantité et le type de matériau explosif.
2. **Conversion en équivalent TNT** : Ensuite, cette énergie est convertie en équivalent TNT. La formule typique pour cette conversion est :

$$W_{\text{TNT}} = W_{\text{explosif}} \cdot \left(\frac{\text{énergie spécifique de l'explosif}}{\text{énergie spécifique du TNT}} \right)$$

où W_{explosif} est la masse de l'explosif et l'énergie spécifique est l'énergie dégagée par unité de masse de l'explosif (exprimée en joules/kg).

3. **Détermination des effets en fonction de la distance** : Le modèle TNT utilise des courbes normalisées qui permettent de déterminer les effets de l'explosion en fonction de la distance de l'épicentre de l'explosion. Les effets incluent :
 - ❖ L'onde de surpression,
 - ❖ La vitesse de l'onde de choc,
 - ❖ Les dommages sur les bâtiments et les blessures sur les personnes.

Ces calculs sont importants pour estimer les impacts d'une explosion sur les structures et les personnes se trouvant à différentes distances de l'explosion.

3. Détermination des effets des explosions

Les effets des explosions sont principalement définis par l'onde de choc qui se propage à partir du point d'explosion. Ces effets sont généralement classés en trois catégories principales :

- **Les effets sur les personnes :**
 - Les **blessures par onde de choc** : L'onde de choc peut causer des blessures internes graves, en particulier aux poumons et aux organes creux. Les blessures sont plus graves lorsque la personne se trouve proche du site de l'explosion.
 - Les **blessures par projectiles** : Les objets projetés par l'explosion peuvent causer des blessures par pénétration, voire être mortels.
 - Les **effets thermiques** : Lorsqu'une explosion est accompagnée d'un incendie, les personnes peuvent subir des brûlures graves.
- **Les effets sur les structures :**
 - **Effondrement** : Les explosions à proximité des bâtiments peuvent provoquer l'effondrement des structures, en particulier si elles ne sont pas conçues pour résister à des surpressions.
 - **Dommages locaux** : L'onde de choc peut causer des fissures dans les murs et les fondations, tandis que la pression accrue peut faire voler en éclats les fenêtres et portes.
 - **Feu post-explosion** : En fonction des matériaux présents sur le site, une explosion peut déclencher des incendies, aggravant les dégâts.
- **Les effets environnementaux :**
 - Une explosion peut aussi avoir un impact sur l'environnement en créant des cratères, en endommageant la végétation, et en perturbant l'écosystème local. Si des produits chimiques sont impliqués, il peut également y avoir une contamination de l'air, du sol et de l'eau.

3° Les accidents industriels

Les accidents industriels (majeurs) impliquant des explosions sont parmi les plus dévastateurs, tant en termes de dégâts matériels que d'impact sur la vie humaine. Ces explosions peuvent se produire sous différentes formes, dont les plus courantes sont l'UVCE, le BLEVE, et le Boilover. Chacune de ces explosions présente des caractéristiques distinctes et leurs effets varient selon plusieurs facteurs.

A - L'UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion)

Une **UVCE** (Unconfined Vapor Cloud Explosion) est une explosion qui survient lorsqu'un nuage de vapeur inflammable non confiné s'enflamme, généralement après une fuite de gaz ou de liquide volatil. Cette explosion se produit dans un espace ouvert, car il n'y a pas de confinement direct pour contenir la pression.

1. Facteurs influençant le régime de l'explosion

Plusieurs facteurs peuvent influencer la sévérité et le régime de l'explosion dans une UVCE :

- **Concentration du gaz dans l'air** : La concentration des vapeurs dans l'air doit être comprise entre les limites inférieure et supérieure d'explosivité (LIE et LSE) pour qu'une explosion soit possible.
- **Nature des matériaux** : Les propriétés du gaz ou du liquide (inflammabilité, volatilité, énergie de combustion) déterminent la violence de l'explosion.
- **Conditions météorologiques** : Le vent, la température ambiante et l'humidité influencent la dispersion du nuage et l'éventuelle ignition.
- **Topographie** : Les obstacles ou structures présentes peuvent augmenter la turbulence du nuage et faciliter l'inflammation.

2. Le rendement de l'explosion dans le cas du modèle équivalent TNT

Dans les UVCE, le modèle équivalent TNT est souvent utilisé pour estimer les effets de l'explosion. Le **rendement de l'explosion** représente la fraction de l'énergie contenue dans le nuage de vapeur qui est convertie en énergie mécanique destructrice lors de l'explosion. Ce rendement varie généralement entre 1 % et 10 % de l'énergie totale libérée par l'explosion. La conversion en équivalent TNT permet de modéliser les effets des UVCE de manière similaire à ceux d'une explosion classique de TNT.

3. Localisation du point d'ignition

Le **point d'ignition** dans une UVCE est essentiel pour comprendre la propagation de l'explosion. Si l'inflammation se produit au centre du nuage, l'explosion se propagera uniformément dans toutes les directions. En revanche, si le point d'ignition est décalé, l'explosion sera asymétrique, avec une propagation plus rapide dans la direction du nuage. La localisation du point d'ignition influence directement la forme de l'onde de choc et l'ampleur des dégâts.

B - Le BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)

Le **BLEVE** est une explosion résultant de l'éclatement d'un récipient contenant un liquide sous pression qui est maintenu à une température supérieure à son point d'ébullition. Cette explosion est souvent accompagnée d'un violent dégagement de vapeur.

1. Notion de température limite de surchauffe

La **température limite de surchauffe** est la température maximale que le liquide sous pression peut atteindre avant que la pression interne ne cause la rupture du contenant. Lorsque cette température est dépassée, la vaporisation rapide du liquide crée une expansion brutale de vapeur, entraînant l'explosion du contenant.

2. Description du BLEVE

Le **BLEVE** se produit en plusieurs étapes :

- Un récipient contenant un liquide sous pression est exposé à une source de chaleur (incendie, surchauffe),
- La température du liquide dépasse son point d'ébullition sous pression atmosphérique,
- La paroi du réservoir s'affaiblit sous la chaleur, provoquant la rupture du récipient,
- Le liquide surchauffé se vaporise instantanément, créant une onde de choc violente accompagnée d'une boule de feu si le liquide est inflammable.

3. Les conséquences du BLEVE

Les conséquences d'un BLEVE peuvent être catastrophiques :

- **Onde de choc** : La rupture violente du réservoir et l'expansion rapide de la vapeur génèrent une onde de choc puissante qui cause des dommages importants.
- **Projection de fragments** : Le réservoir se fragmente, projetant des morceaux de métal sur de longues distances à haute vitesse.
- **Boule de feu** : Si le liquide est inflammable, une boule de feu se forme, augmentant encore les risques pour les structures et les personnes à proximité.

Comparatif des effets sur les personnes et les structures

a. Effets sur les personnes :

- Les blessures ou décès sont principalement causés par l'onde de choc, la chaleur intense de la boule de feu et les fragments projetés.

- Les personnes proches du point d'explosion sont exposées à des températures extrêmes, des brûlures graves et des traumatismes dus à la déflagration.
- b. **Effets sur les structures :**
- Les bâtiments à proximité peuvent subir d'importants dégâts structurels, voire un effondrement, en raison de la pression de l'onde de choc.
 - Les fragments projetés du réservoir peuvent percer des murs, des toits et d'autres structures.

4. *Fragmentation des réservoirs*

1. **Réservoirs cylindriques horizontaux (cigares) :** Ces réservoirs se rompent généralement le long de leurs soudures longitudinales sous l'effet de la pression. Les fragments peuvent être projetés dans plusieurs directions à grande vitesse, aggravant les dommages.
2. **Réservoirs sphériques :** Ils explosent de manière plus uniforme en raison de leur forme géométrique, avec des fragments projetés de manière plus homogène. Cependant, la pression interne plus élevée peut rendre l'explosion encore plus violente.

C - Le Boilover

Le **Boilover** est un phénomène qui se produit lorsqu'un incendie touche un réservoir contenant des hydrocarbures lourds. Lorsque le liquide chauffé atteint les couches inférieures du réservoir, en contact avec de l'eau ou des liquides volatils, un dégagement brutal de vapeur se produit, provoquant une explosion de grande ampleur.

1. *Description du phénomène*

Le **Boilover** se produit lorsque la couche supérieure du réservoir, enflammée, chauffe les couches inférieures jusqu'à ce qu'elles atteignent leur point d'ébullition. La rencontre entre ces couches chaudes et de l'eau peut causer une vaporisation instantanée, augmentant le volume de liquide et provoquant une éjection violente du contenu du réservoir enflammé.

2. Conditions nécessaires à la naissance du phénomène

- **Présence d'un incendie** sur la surface du réservoir,
- **Hydrocarbures lourds** : Les liquides plus lourds et plus visqueux sont plus susceptibles de provoquer un Boilover,
- **Présence d'eau** ou de substances volatiles dans le réservoir, sous les hydrocarbures chauffés.

3. Caractéristiques des hydrocarbures susceptibles de produire le phénomène

Le phénomène de **Boilover** survient principalement avec certains types d'hydrocarbures qui possèdent des caractéristiques spécifiques. Ces hydrocarbures, en raison de leur composition chimique et de leurs propriétés physiques, sont plus propices à entraîner des projections violentes de liquide enflammé lorsqu'ils sont exposés à des conditions de surchauffe.

a. Hydrocarbures lourds

Les **hydrocarbures lourds** sont des substances pétrolières plus denses et plus visqueuses que les hydrocarbures légers. Parmi les exemples les plus courants figurent :

- **Pétrole brut lourd**,
- **Mazout** (fuel lourd),
- **Bitume**,
- **Résidus de raffinage**.

Ces hydrocarbures sont principalement composés de molécules à longue chaîne carbonée, qui ont des points d'ébullition plus élevés et une volatilité plus faible comparativement aux hydrocarbures légers (comme le propane, le butane ou l'essence).

b. Capacité calorifique élevée

Les hydrocarbures lourds possèdent une **forte capacité calorifique**, ce qui signifie qu'ils peuvent absorber et stocker une grande quantité de chaleur avant de changer d'état (se vaporiser). Cette capacité leur permet de s'échauffer progressivement sur une longue période sans immédiatement se vaporiser ou brûler complètement à la surface.

- **Accumulation de chaleur** : Dans le cadre d'un incendie, la surface de l'hydrocarbure lourd brûle, tandis que les couches inférieures accumulent de la chaleur progressivement. Cette chaleur pénètre lentement dans les couches profondes du liquide.
- **Lente vaporisation** : Contrairement aux hydrocarbures légers, qui s'évaporent rapidement en présence de chaleur, les hydrocarbures lourds nécessitent une exposition prolongée à la chaleur pour atteindre leur point d'ébullition.

c. Faible volatilité

Les hydrocarbures susceptibles de provoquer un Boilover ont une **faible volatilité**, ce qui signifie qu'ils ne se vaporisent pas facilement à température ambiante. Ils nécessitent donc une source de chaleur significative pour atteindre leur température d'ébullition et passer à l'état gazeux.

- **Température d'ébullition élevée** : Les hydrocarbures lourds ont des points d'ébullition bien plus élevés que les hydrocarbures légers. Cela retarde leur vaporisation, ce qui permet aux couches inférieures de rester à l'état liquide plus longtemps. Cependant, lorsqu'une température critique est atteinte en présence d'eau sous ces hydrocarbures, la vaporisation soudaine peut être très violente.

d. Interaction avec l'eau

Une autre caractéristique critique des hydrocarbures lourds impliqués dans un Boilover est leur interaction avec l'eau. Dans les réservoirs de stockage ou les bassins, de l'eau peut se trouver sous les hydrocarbures, en particulier en raison de la condensation ou de la présence d'eau de pluie. Les hydrocarbures lourds, étant moins denses que l'eau, flottent à la surface.

- **Eau sous les hydrocarbures** : Lorsque les couches supérieures d'hydrocarbures brûlent et que la chaleur atteint les couches plus profondes, la température de l'hydrocarbure peut dépasser les **100°C**, c'est-à-dire le point d'ébullition de l'eau.
- **Vaporisation instantanée de l'eau** : Lorsque cette chaleur atteint l'eau en dessous, celle-ci se vaporise rapidement, augmentant soudainement de volume (environ 1700 fois). Cela provoque l'expulsion violente des hydrocarbures brûlants à la surface, entraînant le Boilover.

e. Faible conductivité thermique

Les hydrocarbures lourds ont également une **faible conductivité thermique**, ce qui signifie que la chaleur se propage lentement à travers le liquide. Cette propriété favorise la formation de gradients thermiques dans le réservoir, où les couches supérieures brûlent alors que les couches inférieures se réchauffent progressivement. Cette lente diffusion de la chaleur permet à l'eau située sous les hydrocarbures de rester longtemps en phase liquide avant d'être atteinte par les températures élevées, augmentant ainsi le risque de Boilover.

4. Conséquences du Boilover

Le **Boilover** est un phénomène particulièrement dangereux lors d'incendies touchant des réservoirs contenant des hydrocarbures lourds. Il se caractérise par une éruption violente de liquide enflammé, qui peut entraîner des conséquences graves pour les personnes et les infrastructures environnantes. Voici un examen plus détaillé des conséquences du Boilover.

a. Projection d'hydrocarbures enflammés sur une large zone

Lors d'un Boilover, les hydrocarbures enflammés présents à la surface du réservoir sont projetés violemment dans l'air à cause de la vaporisation rapide de l'eau ou des substances volatiles situées sous les couches d'hydrocarbures. Cette

projection de liquide enflammé peut couvrir une large zone autour du réservoir, souvent jusqu'à plusieurs centaines de mètres.

Les hydrocarbures enflammés projetés à haute température augmentent considérablement les risques d'incendies secondaires dans les zones environnantes. Ces flammes peuvent atteindre des structures voisines, des véhicules, des installations industrielles ou même des végétations, provoquant la propagation rapide du feu. La nature visqueuse et persistante de ces hydrocarbures lourds enflamme tout ce qu'ils touchent, ce qui rend les incendies difficiles à maîtriser.

b. Propagation du feu sur de grandes distances, touchant des installations environnantes

La projection de grandes quantités d'hydrocarbures enflammés peut facilement toucher des installations industrielles environnantes, telles que d'autres réservoirs de stockage, des pipelines, des équipements électriques, ou des infrastructures critiques comme les routes ou les voies ferrées.

- **Effet domino** : Lorsque le Boilover provoque des incendies dans des installations adjacentes, il peut déclencher un **effet domino** avec des explosions supplémentaires ou des défaillances structurelles. Par exemple, si d'autres réservoirs de stockage ou conduites de gaz sont touchés, cela peut entraîner une série d'explosions et des incendies encore plus dévastateurs.
- **Interruption des services** : Les infrastructures critiques, comme les lignes électriques ou les réseaux de communication, peuvent être endommagées, interrompant les services essentiels à la gestion de la crise.

La chaleur rayonnée par les flammes peut également provoquer des dégâts à des distances relativement éloignées, rendant encore plus difficile l'intervention des pompiers ou des équipes de secours.

c. Risque de blessure pour les personnes exposées à des éclaboussures de liquide chaud et enflammé

Le risque pour les personnes présentes sur le site ou dans la zone proche du Boilover est extrêmement élevé. Les blessures peuvent être provoquées de plusieurs manières :

- **Brûlures graves** : Les éclaboussures de liquide chaud et enflammé peuvent entraîner des brûlures graves, voire mortelles, pour les personnes proches du site. Les hydrocarbures enflammés à haute température causent des lésions profondes sur la peau, et l'intensité du feu peut provoquer une combustion rapide des vêtements et des équipements de protection.
- **Asphyxie** : La propagation rapide du feu entraîne une combustion intense qui consomme l'oxygène dans l'air, créant un risque d'asphyxie dans des zones proches. De plus, les vapeurs toxiques libérées par la combustion des hydrocarbures peuvent causer des dommages aux voies respiratoires et des intoxications.

- **Blessures mécaniques** : La violence de l'explosion associée au Boilover peut projeter non seulement des hydrocarbures enflammés, mais aussi des débris de structures (réservoirs, tuyauterie), qui peuvent causer des blessures physiques graves ou des traumatismes.

Les travailleurs dans les zones à risque doivent être formés et équipés de manière adéquate pour minimiser ces dangers, mais même avec les meilleures précautions, le Boilover reste un phénomène extrêmement dangereux et difficile à gérer.

Titre II : Introduction aux méthodes d'analyse des risques et le processus de danger

L'analyse des risques est une démarche essentielle dans les secteurs industriels et technologiques pour identifier, évaluer, et gérer les dangers susceptibles de provoquer des accidents. Elle permet de minimiser les conséquences d'événements imprévus en intégrant des stratégies de prévention et de gestion des risques.

1° Le risque et les dangers

A – Définitions

1. Illustration

Dans le contexte industriel ou technique, les concepts de "risque" et de "danger" sont souvent utilisés, mais ils ne signifient pas la même chose.

- **Exemple illustratif** : Imaginez une usine chimique. Un **danger** pourrait être la présence d'un réservoir de gaz toxique sous pression. Le **risque** associé à ce danger pourrait être une fuite de gaz qui, sous certaines conditions (mauvais entretien, surchauffe, etc.), entraînerait une intoxication des travailleurs ou une explosion.

Ainsi, un danger représente la source potentielle de dommages, tandis que le risque est la probabilité que ce danger entraîne effectivement un événement néfaste.

2. Définitions

- **Danger** : Le danger est une propriété intrinsèque ou une situation susceptible de causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement. Un danger peut être lié à des substances dangereuses (produits chimiques, gaz, etc.), des équipements défectueux, ou des conditions de travail spécifiques.
Exemple : Un liquide inflammable est dangereux en raison de sa capacité à s'enflammer sous certaines conditions.
- **Risque** : Le risque est la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux et de la gravité des conséquences qui en résultent. Il est généralement défini par la formule suivante :
Risque=Probabilité x Gravité.

Le risque peut être faible si la probabilité d'occurrence est basse, même si la gravité est élevée, ou élevé si la probabilité est forte, même si la gravité est modérée.

B - Évaluation

L'évaluation des risques consiste à quantifier et à prioriser les risques en fonction de deux critères principaux : la gravité des conséquences et la probabilité d'occurrence de l'événement.

1. Échelle de gravité

L'échelle de gravité permet de classer les conséquences potentielles d'un événement selon leur importance. Voici un exemple d'échelle simplifiée :

- **Gravité faible** : Des conséquences mineures telles que des blessures légères sans hospitalisation, des dommages matériels limités.
- **Gravité modérée** : Des blessures sérieuses nécessitant une hospitalisation, des dommages matériels importants, mais sans menace pour l'intégrité de l'entreprise.
- **Gravité élevée** : Des conséquences graves, telles que des incapacités permanentes, des décès, ou des pertes économiques importantes qui pourraient affecter la continuité des opérations.
- **Gravité critique** : Des conséquences catastrophiques, telles que des multiples décès, l'effondrement d'une entreprise, ou des dégâts environnementaux majeurs et irréversibles.

L'utilisation d'une échelle de gravité permet de visualiser l'impact potentiel d'un danger et de prioriser les actions de prévention.

2. Probabilité

La probabilité évalue la chance que l'événement dangereux se produise. Elle est souvent exprimée sur une échelle qualitative ou quantitative, basée sur des données historiques, des statistiques ou des jugements d'experts.

Voici un exemple d'échelle de probabilité qualitative :

- **Probabilité très faible** : L'événement est hautement improbable, quasiment impossible dans les conditions normales d'exploitation (par exemple, une fois tous les 100 ans ou plus).
- **Probabilité faible** : L'événement est peu probable mais possible, avec une occurrence rare dans les conditions actuelles (par exemple, une fois tous les 10 à 100 ans).
- **Probabilité modérée** : L'événement peut se produire, et il a été observé occasionnellement dans des conditions similaires (par exemple, une fois tous les 1 à 10 ans).

- **Probabilité élevée** : L'événement est susceptible de se produire régulièrement dans des conditions normales d'exploitation (par exemple, au moins une fois par an).

La probabilité permet de quantifier la possibilité d'occurrence d'un accident ou d'un incident lié à un danger spécifique, et d'évaluer à quel point il est urgent de prendre des mesures de prévention ou d'atténuation.

C - Les propositions de lois de danger

Une loi de danger représente la relation entre l'intensité d'un danger (comme une explosion, une émission toxique, un incendie) et la probabilité d'occurrence de ses conséquences néfastes. Elle prend en compte plusieurs facteurs :

- La nature du danger (chimique, physique, biologique, etc.).
- Les conditions dans lesquelles ce danger pourrait se manifester (fréquence d'exposition, contexte industriel, environnement).
- La gravité des effets (dommages humains, matériels, environnementaux).

1 - Les lois de Murphy

Les lois de Murphy sont attribuées à **Edward A. Murphy Jr.**, un ingénieur aérospatial américain travaillant dans les années 1940. L'anecdote raconte que lors d'un test de décélération pour la force g dans un projet de l'US Air Force, quelqu'un aurait câblé un dispositif de mesure de manière incorrecte, ce qui aurait conduit Murphy à dire : « **Si quelque chose peut mal tourner, ça finira par mal tourner.** »

Applications

- **Gestion de projet** : La loi de Murphy encourage à anticiper les risques et à préparer des plans de contingence.
- **Ingénierie et conception** : Elle rappelle l'importance de tester et de valider les systèmes pour identifier les faiblesses potentielles. Ci-dessous un exemple concret d'applications de cette loi.

Contexte

Une entreprise chimique prévoit une opération de maintenance annuelle sur une de ses installations critiques. Cette maintenance requiert un arrêt complet du processus de production, et le planning de redémarrage est serré pour minimiser les pertes de production. Cependant, la loi de Murphy incite l'équipe à prévoir et anticiper les incidents qui pourraient survenir pendant la maintenance.

Mise en œuvre de la loi de Murphy

Pour se préparer au pire, l'équipe de maintenance met en place les actions suivantes :

Identification des pannes probables : L'équipe identifie les équipements susceptibles de rencontrer des problèmes pendant la maintenance, comme les compresseurs ou les pompes, et prévoit des pièces de rechange pour chaque composant critique.

Simulation de redémarrage : Une simulation du redémarrage est planifiée pour identifier des erreurs ou des incidents potentiels qui pourraient se produire pendant la phase critique du retour en service.

Plan de contingence : Un plan de contingence est mis en place pour chaque risque identifié. Par exemple, si une pièce de rechange est indisponible en urgence, l'équipe s'assure de connaître des fournisseurs locaux ou des options de location.

Supervision et gestion des imprévus : Pendant l'arrêt, un ingénieur HSE est présent pour surveiller les procédures de sécurité et anticiper tout risque d'incident pouvant affecter l'intégrité du site ou la sécurité du personnel.

Formation de l'équipe : Le personnel est formé aux procédures d'urgence et à la résolution rapide de problèmes en cas de pannes lors du redémarrage, comme des fuites de gaz ou des défauts électriques.

Résultat

Grâce à cette application proactive de la loi de Murphy, l'entreprise réussit sa maintenance sans incident majeur, malgré un problème imprévu lors du redémarrage d'une pompe. Grâce aux préparations, la pompe est remplacée rapidement, ce qui réduit le délai et évite un arrêt prolongé.

En résumé

Cet exemple montre que l'application pratique de la loi de Murphy consiste à prévoir, dans la mesure du possible, les incidents potentiels pour minimiser leurs impacts.

Dans le cadre des **études de dangers** (ED) réalisées pour des installations classées (ICPE) ou des sites SEVESO, une loi de danger spécifique peut être formulée pour évaluer la probabilité et la gravité d'un accident industriel. Cette

loi est souvent basée sur des analyses statistiques et des modèles physiques ou chimiques.

Exemple de loi de danger applicable à une étude de danger :

Contexte

Prenons l'exemple d'une usine SEVESO manipulant des substances chimiques dangereuses, comme du **chlore** (gaz toxique). L'une des situations dangereuses envisagées pourrait être une **fuite accidentelle de chlore** due à une défaillance technique (ex. rupture d'une conduite ou d'un réservoir).

a) Loi d'occurrence (probabilité d'apparition du danger) :

- Hypothèse : La fuite de chlore peut se produire suite à la défaillance d'une vanne ou d'une conduite sous pression.
- Proposition de loi :
 - La probabilité que cette fuite se produise est estimée à 1 sur 10 000 par an (soit 10^{-4}) en se basant sur les données historiques des installations similaires, la durée de vie des équipements et les taux de défaillance des composants critiques.
 - Cette estimation est obtenue via des méthodes d'analyse de fiabilité telles que l'analyse par arbres de défaillance (FTA).

b) Loi de gravité (impact du danger sur la santé humaine et l'environnement) :

- Hypothèse : Une fuite de chlore affectera la population à proximité, les employés de l'usine, et pourrait polluer l'environnement.
- Proposition de loi :
 - Si la fuite libère 100 kg de chlore dans l'atmosphère, la zone affectée par des concentrations dangereuses pour la santé humaine sera estimée à 500 mètres autour du point de fuite.
 - Les effets sur la santé dans cette zone sont modélisés en utilisant des courbes dose-réponse (LD50 pour la létalité de 50% des personnes exposées à une certaine dose).
 - Au-delà de 500 mètres, les effets seraient beaucoup moins graves (irritations respiratoires), et à 1 km, les concentrations seraient négligeables.

c) Loi de propagation (modélisation de la dispersion du danger) :

- Hypothèse : Le chlore libéré se disperse dans l'atmosphère en fonction de la direction et de la vitesse du vent.
- Proposition de loi :
 - En tenant compte des conditions météorologiques locales (vent moyen à 10 km/h), la dispersion du chlore dans l'air est modélisée par des équations de diffusion des gaz toxiques (modèles de dispersion tels que ALOHA ou PHAST).
 - Selon ces modèles, une concentration létale (> 50 ppm) serait atteinte à 200 mètres en aval du point de fuite en 10 minutes après

la fuite, et cette concentration diminuerait progressivement jusqu'à atteindre un niveau non dangereux à 1 km du point de fuite.

d) **Loi de gravité environnementale (impact environnemental) :**

- Hypothèse : Le chlore qui fuit pourrait aussi avoir des impacts sur l'écosystème proche (sols, végétation, plans d'eau).
- Proposition de loi :
 - Une analyse des effets sur l'environnement évalue que la concentration en chlore dans les sols proches du point de fuite pourrait altérer la végétation sur une zone de 100 mètres autour de la fuite, avec une mortalité élevée des plantes dans les premières 24 heures.

2 - La loi de la réticulaire cindynique

La **loi réticulaire cindynique** postule que **les risques ne se propagent pas de manière isolée mais à travers des réseaux complexes d'interactions** entre différents acteurs et systèmes. « Réticulaire » fait référence à un réseau (ou réticulum) d'éléments interconnectés, tandis que le terme « cindynique » vient du grec « kíndunos » signifiant danger ou risque.

Cette loi met en évidence que, dans un système (par exemple, une organisation industrielle), les risques se comportent de manière similaire à des flux qui circulent à travers un réseau d'interactions humaines, techniques, et organisationnelles. L'idée centrale est que **les dangers émergent, se propagent ou se transforment à cause des interconnexions** entre les éléments du système.

Principe fondamental

Le risque dans un système complexe est réticulaire, ce qui signifie qu'il est distribué et se déplace à travers les liens entre les différentes composantes d'un réseau : personnes, procédures, machines, infrastructures, etc. Une faiblesse dans une partie du réseau peut entraîner des effets inattendus ailleurs, parfois de manière disproportionnée. Cette diffusion des risques à travers les réseaux rend la gestion des dangers plus complexe, car les risques sont souvent difficiles à isoler et à traiter de manière linéaire.

Illustration par un exemple :

Imaginons une usine chimique où plusieurs départements dépendent les uns des autres (ingénierie, production, maintenance, sécurité, logistique, etc.).

Selon la loi réticulaire cindynique, un problème dans un seul département peut rapidement affecter tout le système en raison des **interconnexions** entre ces différents secteurs.

Exemple pratique :

- a. **Départ** : Une équipe de maintenance dans l'usine détecte un retard dans la réparation d'une pompe critique dans le système de refroidissement.
- b. **Propagation** : Ce retard a un impact sur la production, car sans la pompe fonctionnelle, les températures dans une unité de production peuvent dépasser les seuils de sécurité. Les opérateurs de production doivent adapter leurs procédures, ce qui augmente le stress et la charge de travail.
- c. **Amplification du risque** : La fatigue et la pression sur les opérateurs peuvent entraîner une erreur humaine, par exemple une mauvaise manipulation des produits chimiques.
- d. **Effet en chaîne** : Cette erreur peut provoquer une fuite ou une réaction chimique non contrôlée, affectant à la fois la sécurité des employés et l'environnement.
- e. **Retour d'information négatif** : Si cet incident n'est pas géré correctement, la situation pourrait entraîner une cascade d'autres problèmes (arrêt de production, panique parmi le personnel, voire accident majeur).

3 - La loi de l'anti danger

La **loi de l'anti-danger** n'est pas un concept couramment utilisé ou établi dans la littérature classique sur la gestion des risques ou la sécurité industrielle. Toutefois, si l'on s'en tient à une interprétation basée sur le terme, la **loi de l'anti-danger** pourrait être utilisée comme une approche ou un ensemble de principes visant à **neutraliser** ou à **réduire** les risques de manière proactive et systématique. Elle se concentre sur des actions, des mécanismes et des stratégies visant à empêcher l'apparition des dangers ou à en minimiser les effets.

Voici quelques principes qui pourraient constituer cette loi, centrée sur la prévention active des dangers :

1. Identification proactive des dangers (détection avant leur apparition)

La première étape de l'anti-danger consiste à **anticiper et identifier** les dangers avant qu'ils ne se manifestent. Plutôt que d'attendre que des incidents se produisent, les organisations doivent :

- **Effectuer des analyses de risques** régulières pour détecter des failles potentielles dans les processus, équipements, ou comportements humains.
- **Mettre en place des systèmes de surveillance** (capteurs, audits, inspections) permettant de signaler des anomalies avant qu'elles ne se transforment en accidents.

Exemple :

Dans une usine chimique, la détection précoce de fuites potentielles de gaz toxique par des capteurs et des systèmes de surveillance permet d'intervenir immédiatement avant que la situation ne dégénère.

2. Conception de systèmes résilients (prévention par le design)

La deuxième composante de la loi de l'anti-danger consiste à **construire des systèmes résilients** qui intègrent des mesures de sécurité dès leur conception. Cela signifie que les processus, les infrastructures et les outils doivent être conçus de manière à :

- **Prévenir les défaillances** avant qu'elles n'aient un impact majeur.
- **Limitier les conséquences** si un problème survient (barrières de sécurité, systèmes de protection, redondance).

Exemple :

Dans une centrale électrique, des systèmes de refroidissement redondants sont mis en place pour éviter une surchauffe même en cas de défaillance du système principal.

3. Approche d'amélioration continue (réduction systématique des risques)

L'anti-danger suppose une **amélioration continue** des systèmes de sécurité en se basant sur les retours d'expérience (accidents, quasi-accidents, audits). Cette approche permet de renforcer en permanence les mesures de prévention.

- **Analyse des incidents** pour identifier les causes profondes et mettre en place des actions correctives durables.
- **Mise à jour régulière des processus** en fonction des nouvelles technologies, des données et des standards de sécurité.

Exemple :

Après un quasi-accident dans une usine, une révision des procédures de sécurité est effectuée, et des formations supplémentaires sont données aux opérateurs pour renforcer les protocoles.

4. Barrières de protection multiples (concept de défense en profondeur)

Un autre aspect important de la loi de l'anti-danger est l'**utilisation de barrières multiples** pour empêcher les dangers de se matérialiser. L'idée est que même si une barrière échoue, d'autres couches de protection prennent le relais.

- **Barrières techniques** (systèmes d'alarme, soupapes de sécurité).
- **Barrières organisationnelles** (procédures, formations, audits réguliers).
- **Barrières humaines** (formation des employés, sensibilisation).

Exemple :

Dans le secteur nucléaire, la défense en profondeur implique des barrières successives pour éviter la libération de radioactivité : confinement physique, systèmes de refroidissement, et procédures de gestion d'urgence.

5. Culture de sécurité (facteur humain et comportemental)

Une loi d'anti-danger ne peut fonctionner sans la **participation active des individus**. Cela signifie qu'une **culture de sécurité** doit être promue dans les organisations, où chaque personne est responsable de la sécurité.

- **Formation continue** pour sensibiliser les employés aux risques et à la manière de les éviter.
- **Encouragement des remontées d'informations** sur les risques potentiels, même s'ils semblent mineurs.
- **Renforcement positif** pour encourager les comportements sécuritaires.

Exemple :

Dans une usine de fabrication, les opérateurs sont formés non seulement à l'utilisation des machines, mais aussi à l'identification des risques potentiels et à l'importance de signaler les anomalies dès qu'elles apparaissent.

6. Systèmes d'alerte précoce (prévenir avant d'agir)

La **mise en place de systèmes d'alerte précoce** permet d'intervenir rapidement avant que le danger ne se manifeste pleinement. Ces systèmes incluent des capteurs, des alarmes automatiques et des systèmes de surveillance à distance.

Exemple :

Dans une usine SEVESO, un système d'alerte automatique détecte toute variation anormale de température ou de pression dans les réservoirs, ce qui déclenche des mesures préventives avant une explosion potentielle.

7. Planification des réponses aux incidents (gestion du risque résiduel)

Même avec les meilleures mesures de prévention, certains dangers peuvent toujours se produire. C'est pourquoi l'anti-danger inclut également la **planification et la préparation** des réponses en cas de sinistre pour limiter les impacts :

- **Plans d'urgence** (évacuation, confinement, contrôle des fuites).
- **Formations régulières** pour les employés sur les procédures d'urgence.
- **Simulations d'incidents** pour vérifier l'efficacité des mesures.

Exemple :

Dans une raffinerie, des exercices réguliers d'évacuation sont organisés pour s'assurer que les employés savent comment réagir en cas d'incendie ou de fuite chimique.

4 - La loi d'invalidité cindynogène

Le terme **cindynogène** est dérivé de « cindynique », qui fait référence à l'étude des dangers et des risques. Le mot « invalidité » ici ne se réfère pas à une incapacité physique mais plutôt à un **dysfonctionnement** ou une **inefficacité** des systèmes ou des processus de gestion des risques. Autrement dit, la loi d'invalidité cindynogène souligne que **certains systèmes ou mécanismes de gestion de la sécurité peuvent devenir eux-mêmes sources de danger** ou être inopérants face aux risques.

Principe fondamental

La **loi d'invalidité cindynogène** peut être formulée ainsi : **tout système ou processus censé protéger ou atténuer un danger peut devenir une source de danger lui-même** ou être rendu inopérant s'il est mal conçu, mal géré ou si des défaillances organisationnelles ou humaines se produisent.

Cette loi met en lumière l'idée que les mécanismes de sécurité et de gestion des risques peuvent devenir défaillants, inadaptés ou insuffisants. Elle s'applique principalement aux organisations et aux systèmes complexes où la **complexité même des mécanismes de sécurité** peut entraîner des risques imprévus.

Manifestations de la loi d'invalidité cindynogène

Voici quelques exemples concrets de situations où la loi d'invalidité cindynogène se manifeste :

1. **Systèmes de sécurité mal utilisés ou incompris** : Même si une organisation met en place des dispositifs de sécurité efficaces (capteurs, systèmes d'alerte, procédures d'évacuation), si les employés ne sont pas bien formés à leur utilisation ou s'ils les utilisent incorrectement, ces dispositifs peuvent devenir inefficaces ou même dangereux.

Exemple : Dans une usine, un système d'alarme est installé pour signaler les incendies, mais si les employés ne savent pas comment réagir face à l'alarme, le système ne parviendra pas à éviter une crise.

5 - La loi de l'éthique cindynique

La **loi de l'éthique cindynique** stipule que la gestion des risques et des dangers dans les systèmes complexes doit inclure des **considérations éthiques**. Les

décisions ne doivent pas seulement se baser sur des critères techniques et économiques, mais aussi sur des principes moraux et responsables.

Principes clés de cette loi :

1. **Responsabilité envers les personnes** : Protéger la santé et la sécurité des employés, des communautés locales et de la société en général.
2. **Transparence et communication** : Informer ouvertement les parties prenantes sur les risques et les mesures prises.
3. **Principe de précaution** : Prendre des mesures préventives même en cas d'incertitude scientifique sur les risques.
4. **Équité et justice sociale** : Assurer que les risques ne pèsent pas de manière disproportionnée sur des groupes vulnérables.
5. **Préservation de l'environnement** : Minimiser l'impact environnemental des activités à risque.
6. **Rendre des comptes (Accountability)** : Assumer la responsabilité des erreurs et les corriger.
7. **Lien avec la responsabilité sociale des entreprises (RSE)**

La loi de l'éthique cindynique est étroitement liée à la notion de responsabilité sociale des entreprises (RSE), qui englobe les pratiques visant à garantir que les entreprises agissent de manière socialement responsable. L'éthique cindynique se concentre spécifiquement sur la gestion des risques et des dangers, mais elle s'inscrit dans une démarche plus large de protection des droits humains, de justice sociale et de développement durable.

6 - La loi d'accoutumance au danger

Dans le domaine des **risques majeurs**, la **loi d'accoutumance au danger** met en évidence que l'exposition répétée à un risque sans conséquence immédiate peut entraîner une **baisse de vigilance** et un **relâchement des mesures de sécurité**. Les individus et les organisations deviennent **moins sensibles aux dangers** à force de les côtoyer sans incident, ce qui accroît la probabilité d'accidents majeurs.

Principaux points :

1. **Diminution de la perception du risque** : Le danger est sous-estimé à mesure que les personnes s'habituent à l'absence d'incidents.
2. **Comportements à risque** : Cela peut conduire à la négligence des protocoles de sécurité et à des comportements imprudents.
3. **Conséquences** : L'accoutumance augmente le risque d'accidents graves, car les dangers sont banalisés.

Prévention :

- **Formations et sensibilisation régulières** sur les risques.

- **Audits de sécurité fréquents** pour garantir le respect des protocoles.
- **Exercices d'urgence et simulations** pour maintenir la vigilance.

2° Quelques méthodes d'analyse des risques

A - Méthodologie générale : les étapes d'une analyse des risques

L'analyse des risques est un processus structuré permettant d'identifier, d'évaluer et de prioriser les risques potentiels auxquels une organisation, une installation ou un projet peut être exposé. Dans le domaine des **risques majeurs**, cette méthodologie est cruciale pour prévenir des incidents graves.

1 - La définition du système étudié

La première étape consiste à **définir clairement le système** sur lequel l'analyse des risques sera menée. Cette étape est essentielle pour comprendre les limites, les objectifs, et le fonctionnement global du système.

Actions :

- **Décrire les composants du système** : Identifier les éléments techniques, humains et organisationnels qui composent le système (infrastructures, équipements, personnel, processus).
- **Définir les frontières du système** : Identifier les **interfaces internes et externes** du système avec d'autres systèmes ou environnements, comme les fournisseurs, les sous-traitants ou l'environnement naturel.
- **Clarifier les objectifs et fonctions** : Déterminer ce que le système doit accomplir (par exemple, production industrielle, stockage de produits chimiques, etc.).
- **Définir les conditions de fonctionnement** : Inclure les aspects opérationnels normaux et les modes de fonctionnement en situation dégradée ou d'urgence.

Exemple :

Pour une usine chimique, cette étape consisterait à définir les équipements utilisés (réacteurs, réservoirs), les produits manipulés, les employés impliqués, ainsi que les connexions avec les installations voisines et les systèmes de gestion de sécurité

2 - L'identification des risques du système

Une fois le système défini, il est nécessaire d'**identifier les risques** qui y sont associés. Cette étape permet de dresser une **liste exhaustive des dangers** qui pourraient affecter les objectifs du système.

Actions :

- **Lister les dangers potentiels** : Examiner les différentes sources de risques (ex. : substances dangereuses, défaillances techniques, erreurs humaines, catastrophes naturelles).
- **Identifier les scénarios de risque** : Pour chaque danger, définir des scénarios plausibles qui peuvent se traduire par un accident ou un incident. Ces scénarios peuvent inclure des défaillances matérielles, des erreurs humaines, des événements extérieurs, etc.
- **Utiliser des outils d'identification** : L'utilisation de méthodes telles que les **brainstormings**, **check-lists**, **analyses historiques**, ou **AMDEC** permet de rendre l'identification des risques plus exhaustive.

Exemple :

Dans une raffinerie, les risques potentiels peuvent inclure des fuites de gaz inflammables, des explosions, des incendies, et des erreurs humaines lors de la maintenance des réservoirs.

3 - Modélisation du système

La modélisation permet de **représenter graphiquement ou mathématiquement le fonctionnement du système** et la propagation des risques à travers ses différents composants. Cette étape est cruciale pour analyser la manière dont les risques peuvent se développer dans le système.

Actions :

- **Modéliser les interactions entre les composants du système** : Représenter les flux de données, d'énergie, ou de matières à travers le système pour comprendre comment un risque pourrait se propager d'un composant à l'autre.
- **Utiliser des modèles spécifiques** : Outils comme les **arbres de défaillance (FTA)**, les **arbres d'événements**, les **diagrammes de bloc de fiabilité**, ou les **réseaux bayésiens** sont couramment utilisés pour modéliser les systèmes complexes.
- **Simuler des scénarios de risque** : Les simulations peuvent être utilisées pour étudier la manière dont le système réagit face à certaines défaillances ou accidents, afin d'anticiper les points critiques.

Exemple :

Dans une installation SEVESO, la modélisation peut inclure un **arbre de défaillance** qui montre comment une fuite de gaz dans un réservoir pourrait se transformer en explosion à travers une série de défaillances successives (défaillance d'une soupape, augmentation de la pression, inflammation du gaz, etc.).

4 - L'analyse qualitative et/ou quantitative

Cette étape consiste à **analyser les risques identifiés** pour évaluer leur criticité. L'analyse peut être **qualitative** (évaluer les risques sur une échelle descriptive, par exemple "faible", "modéré", "élevé") ou **quantitative** (évaluer numériquement la probabilité et les conséquences).

Actions :

- **Analyse qualitative** : Utiliser des outils comme les **matrices de risque** pour classer les risques selon leur gravité et leur probabilité. Cette analyse est souvent utilisée pour hiérarchiser les risques et orienter les efforts de prévention.
- **Analyse quantitative** : Effectuer une évaluation plus précise en chiffrant les probabilités de défaillance et les conséquences (financières, environnementales, humaines). Des outils comme les **modèles probabilistes** ou des **simulations Monte Carlo** peuvent être utilisés pour cette analyse.
- **Classer les risques par criticité** : L'objectif est de prioriser les risques selon leur gravité et de déterminer lesquels nécessitent des mesures de prévention immédiates.

Exemple :

Dans une centrale nucléaire, une analyse quantitative pourrait évaluer le risque d'une défaillance de réacteur en fonction de la probabilité d'apparition d'une surchauffe et des conséquences en termes de dégâts environnementaux et humains. Les résultats guideraient les mesures de prévention à renforcer.

3° Les différentes méthodes d'analyse des risques

A - Panorama général

1 - Analyse préliminaire des risques (APR)

L'**Analyse Préliminaire des Risques** (APR) est une méthode utilisée en amont d'un projet ou d'un processus pour identifier les dangers potentiels et les risques associés. Cette méthode est souvent utilisée à une phase initiale pour dresser un **premier état des lieux des risques**.

Objectifs :

- Identifier les dangers majeurs.
- Classer les risques en fonction de leur probabilité et gravité.
- Déterminer les premières actions de prévention à mettre en place.

Avantages :

- Simple et rapide.
- Fournit une **vue d'ensemble** des risques dès les premières étapes d'un projet.

Limites :

- Moins approfondie que d'autres méthodes, elle n'entre pas dans les détails techniques.

2 - Méthode de l'arbre des défaillances (ou des causes)

L'**Arbre des Défaillances** (ou Arbre des Causes) est une méthode graphique qui permet de représenter les différentes causes pouvant mener à un événement indésirable (ou défaillance). Le diagramme prend la forme d'un **arbre** où l'événement indésirable est la racine, et les causes potentielles sont les branches.

Objectifs :

- Comprendre comment des défaillances combinées peuvent entraîner un incident grave.
- Identifier les **causes racines** d'un incident ou d'un accident.

Avantages :

- Visuel et simple à interpréter.
- Aide à identifier des **combinaisons de causes** complexes.

Limites :

- Nécessite des données sur les défaillances individuelles.
- Peut devenir complexe dans des systèmes très vastes.

3 - Méthode HAZOP

La **méthode HAZOP (Analyse des modes opératoires)** est une technique systématique utilisée pour identifier les déviations dans un système par rapport à ses conditions normales de fonctionnement. Elle se base sur l'étude de **mots-guides** (trop, trop peu, autre que...) pour explorer les défaillances potentielles dans chaque étape d'un processus.

Objectifs :

- Identifier les **déviations** dangereuses dans le fonctionnement des systèmes.
- Proposer des **mesures correctives** pour éviter les incidents.

Avantages :

- Très détaillée, elle examine chaque étape du processus.
- Efficace pour les systèmes complexes, notamment en chimie, pétrole, nucléaire.

Limites :

- Longue et fastidieuse.
- Nécessite un groupe d'experts et beaucoup de temps.

Les étapes de la Méthode AZOP

1. **Décomposition des Procédures** : Analyser étape par étape les modes opératoires ou procédures existantes, afin d'identifier les éléments critiques.
2. **Identification des Mots de Déviation** : Utiliser des mots-clés spécifiques comme "trop", "pas assez", "avant", "après", "autre" pour explorer toutes les déviations possibles dans chaque étape.
3. **Évaluation des Conséquences et des Causes** : Pour chaque déviation, identifier les conséquences potentielles et les causes sous-jacentes.
4. **Identification des Mesures de Maîtrise** : Déterminer les actions nécessaires pour prévenir ou contrôler les risques associés à chaque déviation identifiée.
5. **Documentation et Suivi** : Documenter toutes les déviations et les mesures mises en place, et prévoir un suivi pour s'assurer de l'efficacité des mesures.

4 - Méthode AMDE / AMDEC

L'**AMDE** (ou **AMDEC** lorsqu'elle inclut la criticité) est une méthode qui permet d'analyser **les modes de défaillance** potentiels d'un système, leur fréquence et leurs effets. Elle examine chaque composant d'un système et identifie comment il pourrait échouer.

Objectifs :

- Identifier les **défaillances** possibles de chaque composant.
- Évaluer leur **impact** (effets) sur le système global.
- Déterminer les **mesures correctives** pour chaque défaillance critique.

Avantages :

- Approche très détaillée, idéale pour des systèmes techniques.
- Aide à identifier les **points faibles** spécifiques.

Limites :

- Peut être lourde et consommatrice de temps pour des systèmes complexes.
- Nécessite une grande quantité de données.

5 - Méthode de l'arbre des événements ou des conséquences

L'**arbre des événements** (ou des conséquences) est une méthode qui part d'un événement initial (souvent une défaillance) et explore les **différentes conséquences possibles** à travers une série de bifurcations (succès/échec). Cette méthode est particulièrement utile pour analyser les réponses d'un système de protection à un événement.

Objectifs :

- Évaluer les **conséquences possibles** d'un événement initial.
- Étudier la **réaction des systèmes de protection** à différents scénarios.

Avantages :

- Utile pour identifier les **scénarios en cascade**.
- Permet d'évaluer les systèmes de sécurité et leurs réponses aux défaillances.

Limites :

- Se concentre uniquement sur un événement initial spécifique.
- Peut devenir complexe avec des systèmes très ramifiés.

6 - Méthode du nœud papillon (Bow Tie Analysis)

La **méthode du nœud papillon** combine l'analyse de l'arbre des causes et celle des événements pour représenter graphiquement les risques. La partie centrale du diagramme est l'événement indésirable, avec les **causes** représentées à gauche et les **conséquences** à droite, formant un diagramme en forme de papillon.

Objectifs :

- Représenter de manière simple et visuelle les **causes** et **conséquences** d'un événement.
- Identifier les **barrières de sécurité** qui peuvent être mises en place.

Avantages :

- Très visuel et facile à comprendre pour différents niveaux d'utilisateurs.
- Combine l'analyse des causes et des conséquences.

Limites :

- Ne prend pas toujours en compte la probabilité de chaque événement.
- Peu adapté aux systèmes extrêmement complexes.

7 - La méthode MADS — MOSAR

La méthode **MADS-MOSAR** est une approche plus large, centrée sur la gestion des risques dans les systèmes socio-techniques. **MADS** (Méthode d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes) identifie les risques à travers des scénarios, tandis que **MOSAR** (Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques) est un outil d'analyse qui étudie les **barrières de sécurité**.

Objectifs :

- Identifier et modéliser les **scénarios de risques** dans un système.
- Analyser les **barrières** mises en place pour protéger le système.

Avantages :

- Méthode systémique prenant en compte les **interactions complexes** dans les organisations.

- Se concentre à la fois sur les aspects **techniques et humains**.

Limites :

- Méthode lourde nécessitant une grande implication des équipes.
- Complexe à mettre en œuvre dans certaines organisations.

8- ISHIKAWA

Le **diagramme d'Ishikawa**, également appelé diagramme de cause à effet ou diagramme en arête de poisson, est un outil visuel permettant d'identifier les **causes profondes** d'un problème ou d'un risque. Il organise les causes potentielles en catégories (machines, méthodes, personnel, etc.).

Objectifs :

- Représenter les **causes profondes** d'un problème ou d'un incident.
- Aider à identifier des **mesures correctives** en se concentrant sur les causes réelles.

Avantages :

- Simple, visuel et collaboratif.
- Peut être utilisé dans différents secteurs et sur divers types de risques.

Limites :

- Ne fournit pas d'analyse quantitative.
- Ne prend pas en compte les interactions complexes entre les causes.

4° Choix des méthodes d'analyse des risques

1 - La motivation des participants à l'étude

La motivation des personnes impliquées dans l'analyse des risques est cruciale pour le succès de la démarche. Il est important que les participants comprennent l'importance de l'évaluation des risques et qu'ils soient activement engagés dans le processus.

Facteurs à considérer :

- **Engagement** : Les participants doivent être prêts à s'investir pleinement dans le processus, surtout pour des méthodes comme **HAZOP** ou **AMDEC**, qui nécessitent beaucoup de temps et de collaboration.
- **Connaissance du système** : Une équipe motivée et bien informée fournira des analyses plus pertinentes et réalistes.

Exemple :

Dans une usine chimique, une équipe motivée par l'amélioration de la sécurité sera plus à même de choisir des méthodes complexes comme l'**HAZOP** ou l'**AMDEC**, car elles offrent une analyse approfondie.

2 - Type de résultats demandés

Le choix de la méthode dépend également des **résultats attendus**. Certains types d'analyse fournissent des résultats qualitatifs, tandis que d'autres donnent des résultats plus quantitatifs.

Facteurs à considérer :

- **Résultats qualitatifs** : Méthodes comme **Ishikawa** ou **l'analyse préliminaire des risques (APR)**, qui identifient les causes et dangers principaux sans chiffres détaillés.
- **Résultats quantitatifs** : Méthodes comme l'**AMDEC** ou **l'arbre des défaillances (FTA)**, qui évaluent les probabilités d'occurrence et les impacts chiffrés des risques.

Exemple :

Si une entreprise demande une évaluation détaillée avec des données chiffrées sur la probabilité de défaillance d'un composant, elle peut opter pour des méthodes quantitatives comme l'**AMDEC** ou **l'arbre des défaillances**.

3 - Nature des informations disponibles

Le choix de la méthode d'analyse des risques est directement lié à la **qualité et la quantité des informations disponibles**. Certaines méthodes nécessitent des données détaillées sur les systèmes et les processus, tandis que d'autres peuvent fonctionner avec des informations plus générales.

Facteurs à considérer :

- **Données complètes et précises** : Méthodes quantitatives comme l'**AMDEC** ou **l'arbre des défaillances**, qui nécessitent des informations techniques précises sur les composants et leurs taux de défaillance.
- **Données limitées** : Méthodes comme l'**APR** ou le **nœud papillon**, qui peuvent être utilisées en phase préliminaire avec des informations limitées.

Exemple :

Dans une organisation qui ne dispose pas de beaucoup de données historiques sur les défaillances de ses systèmes, il peut être préférable de commencer par une **analyse préliminaire des risques (APR)**.

4 - Caractéristiques du problème à analyser

Le **type de risque** et la **complexité du système** à analyser influencent également le choix de la méthode. Les systèmes complexes nécessitent souvent des outils d'analyse plus détaillés et techniques.

Facteurs à considérer :

- **Systèmes simples** : Des méthodes comme l'**Ishikawa** ou le **nœud papillon** suffisent pour des systèmes moins complexes, permettant une vue d'ensemble sans entrer dans les détails techniques.
- **Systèmes complexes** : Pour des systèmes comme une centrale nucléaire ou une installation SEVESO, des méthodes plus complètes comme l'**AMDEC**, le **HAZOP**, ou la méthode **MADS-MOSAR** sont nécessaires.

Exemple :

Dans une usine pétrochimique, le choix pourrait se porter sur une méthode comme le **HAZOP** pour analyser les processus complexes de réaction chimique et identifier toutes les déviations possibles.

5 - Perception des risques

La manière dont les risques sont perçus par l'équipe et l'organisation peut influencer le choix de la méthode. Si les risques sont perçus comme très graves ou critiques, cela peut conduire à l'utilisation de méthodes plus détaillées.

Facteurs à considérer :

- **Perception des risques faibles** : Une méthode simple comme l'**APR** ou **Ishikawa** peut être suffisante.
- **Perception des risques élevés** : Une analyse plus poussée, comme l'**AMDEC** ou l'**arbre des événements**, est généralement privilégiée.

Exemple :

Dans un contexte où les conséquences d'un incident sont jugées très graves, comme dans une installation nucléaire, il est probable que des méthodes comme le **FTA** ou l'**arbre des événements** soient choisies pour anticiper toutes les conséquences potentielles.

6 - Expérience de l'équipe

L'**expérience et les compétences** des personnes qui réalisent l'analyse sont également déterminantes dans le choix des méthodes. Une équipe expérimentée sera

capable de gérer des méthodes complexes, tandis qu'une équipe moins expérimentée pourrait se concentrer sur des outils plus simples et visuels.

Facteurs à considérer :

- **Équipe expérimentée** : Peut utiliser des méthodes sophistiquées comme le **HAZOP**, l'**AMDEC** ou le **MADS-MOSAR**, qui nécessitent une bonne connaissance des processus techniques et des risques associés.
- **Équipe novice** : Devrait opter pour des méthodes plus simples comme l'**APR**, l'**Ishikawa**, ou le **nœud papillon**, qui sont plus faciles à comprendre et à mettre en œuvre.

Exemple :

Dans une équipe composée d'experts en sécurité industrielle, une méthode complexe comme le **HAZOP** serait appropriée pour identifier les déviations dangereuses dans un système industriel. Par contre, une équipe avec moins d'expérience pourrait se tourner vers un **Ishikawa** pour une première analyse des causes d'un problème.

5° Exploitation des méthodes d'analyse des risques

L'**exploitation des méthodes d'analyse des risques** consiste à mettre en œuvre les différentes méthodes sélectionnées pour identifier, évaluer, et prioriser les risques dans un système, puis à utiliser les résultats pour prendre des décisions en matière de **prévention** et de **gestion des risques**. Voici les étapes clés pour exploiter efficacement les méthodes d'analyse des risques :

1. Collecte et organisation des informations

La première étape de l'exploitation consiste à rassembler toutes les informations pertinentes nécessaires pour réaliser l'analyse des risques. Cela inclut :

- **Données sur le système** : informations sur les équipements, les processus, les procédures, et les conditions de fonctionnement.
- **Données historiques** : retours d'expérience (REX), incidents passés, audits de sécurité.
- **Informations techniques** : telles que les taux de défaillance, les modes de défaillance potentiels, et les caractéristiques des produits ou substances dangereuses.

Exemple : Pour une analyse **HAZOP** d'un processus chimique, les schémas d'ingénierie, les procédures d'exploitation normales et les spécifications des équipements sont collectés.

2. Application des méthodes d'analyse

Une fois les informations collectées, les **méthodes d'analyse des risques** sont appliquées. Cette étape dépend des méthodes choisies, chacune nécessitant un processus d'exploitation différent :

- **Méthode HAZOP** : L'équipe passe en revue chaque étape du processus en utilisant des **mots-guides** pour identifier les déviations dangereuses (par exemple, « trop », « trop peu »).
- **Arbre des défaillances (FTA)** : On modélise les défaillances potentielles dans un système sous la forme d'un arbre de causes et effets.
- **Méthode AMDEC** : Chaque composant est analysé pour identifier ses modes de défaillance possibles, leur impact, et leur criticité.

3. Interprétation des résultats

Une fois les méthodes appliquées, les résultats sont **interprétés** pour comprendre les **scénarios de risques**, la gravité des dangers, et leur probabilité d'occurrence. Cette étape permet de classer les risques selon leur criticité et d'établir des priorités en matière de gestion des risques.

- **Analyse qualitative** : Pour des méthodes comme **Ishikawa** ou l'**APR**, les résultats permettent de comprendre les **causes profondes** des risques sans chiffres précis.
- **Analyse quantitative** : Avec des méthodes comme l'**AMDEC** ou le **FTA**, les résultats incluent des chiffres précis sur la probabilité des défaillances et leur impact, ce qui aide à **quantifier** les risques.

Exemple : Après une analyse **AMDEC** d'un système de réservoir sous pression, on peut conclure que le risque de rupture d'une soupape est élevé et doit être traité en priorité.

4. Prise de décisions et gestion des risques

Sur la base de l'interprétation des résultats, des **décisions** sont prises concernant les actions à entreprendre pour **réduire** ou **éliminer** les risques identifiés :

- **Réduction des risques** : Mise en œuvre de mesures correctives telles que des modifications techniques, des changements organisationnels, ou des actions de formation pour réduire la probabilité ou l'impact des risques.
- **Élimination des risques** : Dans certains cas, des modifications de processus peuvent permettre d'éliminer complètement certains risques.
- **Traitement des risques résiduels** : Si certains risques ne peuvent pas être éliminés, ils sont acceptés et font l'objet de mesures de surveillance ou de gestion.

Exemple : Après une analyse **FTA** qui révèle un risque élevé d'incendie dans une zone spécifique, l'installation de capteurs de fumée supplémentaires et de systèmes d'extinction automatique peut être décidée.

5. Communication des résultats

Les résultats de l'analyse des risques doivent être **communiqués** aux parties prenantes, afin que toutes les personnes concernées soient informées des risques identifiés et des actions à entreprendre. Cette communication peut se faire sous forme de rapports, de présentations ou de réunions d'équipe.

- **Rapports techniques** : Documenter les résultats des analyses sous forme de rapports détaillés pour la direction ou les régulateurs.
- **Sensibilisation et formation** : Communiquer les résultats aux opérateurs, techniciens, et autres membres du personnel pour garantir qu'ils comprennent les **risques identifiés** et qu'ils respectent les **mesures de sécurité**.

Exemple : Après une analyse **HAZOP** dans une raffinerie, un rapport est présenté à la direction et une formation est donnée aux employés sur les déviations identifiées et les nouvelles procédures de sécurité.

6. Mise en œuvre des actions correctives

Les mesures identifiées dans l'étape de prise de décision doivent être **mises en œuvre** de manière efficace pour réduire les risques. Cela inclut :

- **Modifications techniques** : Mise à jour des équipements ou des processus pour réduire les risques identifiés.
- **Modifications organisationnelles** : Ajustement des procédures de travail, des horaires, ou des formations pour améliorer la sécurité.
- **Surveillance continue** : Installation de systèmes de surveillance ou d'alarme pour détecter toute défaillance ou tout signe de danger avant qu'il ne se produise.

Exemple : Si l'analyse révèle un risque de fuite chimique, l'entreprise peut renforcer les inspections périodiques des réservoirs et former les opérateurs à la détection précoce des signes de faiblesse.

7. Suivi et réévaluation des risques

Les risques évoluent au fil du temps, de même que les systèmes et processus. Un **suivi** régulier est donc nécessaire pour évaluer l'efficacité des mesures mises en place et pour identifier de nouveaux risques. Les analyses de risques doivent être **réévaluées** périodiquement pour s'adapter aux changements.

- **Audit régulier** : Réaliser des audits périodiques pour vérifier que les mesures correctives ont été bien appliquées et fonctionnent comme prévu.
- **Mise à jour des analyses** : Si de nouveaux dangers apparaissent, il peut être nécessaire de revoir l'analyse et de mettre à jour les mesures prises.

Exemple : Après avoir installé un nouveau type d'équipement dans une usine, une nouvelle analyse des risques doit être effectuée pour évaluer les risques associés à cette nouvelle technologie.

6° L'analyse préliminaire des risques (APR)

A - Mise en œuvre de l'APR

La mise en œuvre de l'APR implique plusieurs étapes pour identifier les risques majeurs, analyser les antécédents et définir des mesures préliminaires de réduction des risques.

Étapes :

1. **Constitution de l'équipe** : Regrouper un panel d'experts et de responsables impliqués dans le système à analyser (ingénieurs, opérateurs, responsables HSE).
2. **Collecte des données** : Rassembler toutes les informations disponibles concernant les produits, les procédés, les équipements, et l'environnement de travail.
3. **Sélection des scénarios critiques** : Identifier les scénarios potentiellement dangereux en tenant compte des retours d'expérience, des dangers connus et des processus utilisés.
4. **Évaluation initiale des risques** : Classer les risques en fonction de leur probabilité et de leurs conséquences pour déterminer les actions à mener en priorité.

B - Démarche

L'APR suit une démarche structurée qui permet d'identifier et d'analyser les risques à travers différentes dimensions : les antécédents, les produits, les procédés et les interactions entre ces éléments.

1 - Analyse des antécédents et retour d'expérience (RETEX)

L'analyse des **antécédents** et du **retour d'expérience (RETEX)** est une étape essentielle dans l'APR. Elle permet de tirer des leçons des événements passés, tels que les incidents ou les accidents survenus dans des installations similaires, et d'appliquer ces enseignements à l'analyse actuelle.

- **Objectif** : Utiliser les incidents passés pour anticiper les défaillances possibles.
- **Sources d'information** :
 - Rapports d'accidents et d'incidents.
 - Audits de sécurité.
 - Retours d'expérience internes et externes (échanges entre entreprises, rapports industriels).

Exemple : Si une fuite de gaz a été signalée dans une autre usine chimique avec des installations similaires, cet événement peut servir de base pour identifier un scénario de fuite de gaz dans la nouvelle installation.

2 - Dangers liés aux produits

Les **produits** utilisés dans un système ou un processus peuvent représenter des risques intrinsèques, notamment en fonction de leur nature chimique, physique ou biologique.

- **Objectif :** Identifier les risques inhérents aux produits manipulés (inflammabilité, toxicité, réactivité chimique).
- **Actions :**
 - Examiner les **fiches de données de sécurité** (FDS) des produits pour identifier les dangers (toxiques, corrosifs, inflammables).
 - Analyser les conditions de stockage, d'utilisation et de transport des produits dangereux.

Exemple : Le stockage de produits chimiques inflammables ou réactifs peut créer des risques d'explosion ou d'incendie si les conditions de température ou de pression ne sont pas maîtrisées.

3 - Matrice d'incompatibilité

Une **matrice d'incompatibilité** est un outil qui permet de visualiser les interactions dangereuses possibles entre différents produits ou substances stockés ou utilisés ensemble. Certaines substances peuvent réagir violemment si elles sont mises en contact, augmentant ainsi le risque d'incident.

- **Objectif :** Identifier les combinaisons de produits ou d'agents qui présentent des risques accrus lorsqu'ils sont stockés ou utilisés ensemble.
- **Actions :**
 - Construire une **matrice** où sont listés tous les produits ou matériaux manipulés, et identifier les incompatibilités potentielles entre eux (réactions chimiques, combustion, etc.).
 - Analyser les réactions possibles en cas de défaillance des barrières de sécurité (ex. fuite, mélange accidentel).

Exemple : L'acide et la soude ne doivent pas être stockés ensemble en raison des risques de réactions violentes produisant de la chaleur et des gaz dangereux.

4 - Risques liés aux procédés

Les **procédés industriels** comportent des risques inhérents, liés aux opérations techniques, aux équipements et aux méthodes de travail utilisées.

- **Objectif** : Identifier les défaillances potentielles liées aux procédés de fabrication ou d'exploitation.
- **Actions** :
 - Analyser les différentes étapes des procédés de production, de transformation ou de manipulation des produits (chauffage, refroidissement, transfert de fluides).
 - Évaluer les risques de défaillance technique des équipements (compresseurs, réservoirs, pipelines) et les erreurs humaines dans la manipulation des procédés.

Exemple : Dans une raffinerie, un problème de surchauffe dans un réacteur chimique peut provoquer une explosion si le système de refroidissement ou de régulation de la pression est défaillant.

5 – Conclusion

L'APR permet de réaliser une première évaluation des risques avant de procéder à des analyses plus approfondies. À la fin du processus, les risques identifiés sont classés en fonction de leur gravité et de leur probabilité, et des **mesures préventives** sont proposées pour chaque risque majeur.

- **Élaboration d'un plan d'action** : Les dangers les plus critiques sont identifiés, et des mesures de prévention, de protection, ou de surveillance sont mises en place.
- **Priorisation des risques** : Les risques qui présentent la plus grande gravité et probabilité sont traités en priorité.

Exemple : Si l'APR révèle un risque élevé d'incendie dans une zone de stockage de produits inflammables, des actions telles que l'installation de détecteurs de fumée, de systèmes d'extinction automatique, et la formation du personnel aux procédures d'urgence peuvent être recommandées.

7° La méthode HAZOP

La méthode **HAZOP** (Hazard and Operability Study) est une technique systématique d'analyse des risques utilisée principalement dans les industries à risques élevés (chimie, pétrochimie, nucléaire, etc.). Elle est employée pour identifier les **déviations par rapport aux conditions de fonctionnement normales** d'un système ou d'un processus, afin de prévenir les incidents et d'améliorer la sécurité opérationnelle.

A- Objectifs

L'objectif principal de la méthode HAZOP est de **détecter les risques** dans un processus industriel en identifiant toutes les **déviations** possibles par rapport au fonctionnement normal, et d'évaluer les **conséquences potentielles** de ces déviations sur la sécurité, la santé, l'environnement, et l'efficacité opérationnelle.

Les objectifs spécifiques incluent :

1. **Identification des dangers** : Identifier tous les risques liés aux défaillances, erreurs humaines, ou déviations de fonctionnement dans un processus.
2. **Prévention des incidents** : Proposer des actions correctives ou des modifications pour éviter que ces déviations ne mènent à des accidents ou des incidents.
3. **Amélioration de la sécurité** : Renforcer les dispositifs de sécurité en place pour anticiper et contrôler les risques.
4. **Amélioration de l'opérabilité** : Identifier les problèmes qui pourraient affecter l'efficacité du système et proposer des améliorations.

Exemple d'objectif : Dans une usine chimique, le HAZOP a pour objectif de vérifier que les **systèmes de sécurité** fonctionnent correctement et que les opérateurs connaissent les **procédures d'urgence** en cas de déviation dangereuse (ex. : pression trop élevée dans un réacteur).

B - Principe

La méthode HAZOP repose sur l'analyse détaillée d'un **processus industriel** en le décomposant en sous-parties (appelées "nœuds d'étude") et en analysant les **déviations** potentielles pour chaque étape du processus. Ces déviations sont explorées à l'aide de **mots-guides**, tels que « trop », « pas assez », « autre que », etc., pour identifier les situations anormales.

Étapes du processus HAZOP :

1. **Définition des nœuds d'étude** : Le processus est divisé en sections ou nœuds spécifiques (ex. : réacteur, valve, tuyauterie). Chaque nœud représente une étape clé du processus.

2. **Utilisation des mots-guides** : Pour chaque nœud, des **mots-guides** sont appliqués pour examiner les déviations possibles. Par exemple :
 - « Trop » (ex. : trop de pression, trop de chaleur).
 - « Pas assez » (ex. : pas assez de flux de matière, pas assez de refroidissement).
 - « Autre que » (ex. : produit ou paramètre incorrect).
 3. **Identification des causes et conséquences** : Chaque déviation identifiée est étudiée pour comprendre ses **causes** potentielles (défaillance d'un équipement, erreur humaine, etc.) et ses **conséquences** (explosion, pollution, blessure).
 4. **Proposition de mesures** : Pour chaque déviation dangereuse, des **mesures correctives** ou préventives sont proposées pour éliminer ou réduire les risques (installation de systèmes d'alarme, modification des procédures de travail, etc.).
- Outils utilisés :**
- **Schéma P&ID (Piping and Instrumentation Diagram)** : Représente graphiquement le système ou le processus étudié pour faciliter l'analyse.
 - **Fiches de données** : Utilisées pour détailler les caractéristiques des équipements, des substances, et des conditions d'opération.

C - Exemple de la méthode HAZOP

Prenons l'exemple d'un **réacteur chimique** dans une usine de production de produits chimiques.

Étape 1 : Définir les nœuds d'étude

- Le réacteur est choisi comme nœud d'étude, en raison des réactions chimiques potentiellement dangereuses qui y ont lieu.

Étape 2 : Utilisation des mots-guides

- Pour le réacteur, les mots-guides appliqués incluent :
 - **Trop** (pression trop élevée) : Risque de surpression dans le réacteur, entraînant une explosion si les soupapes de sécurité ne fonctionnent pas.
 - **Pas assez** (refroidissement pas assez rapide) : En cas de problème avec le système de refroidissement, la réaction chimique pourrait devenir incontrôlable et provoquer une surchauffe.
 - **Autre que** (mauvais produit introduit) : Si un réactif incorrect est ajouté au réacteur, cela pourrait entraîner une réaction chimique imprévue et dangereuse.

Étape 3 : Identification des causes et conséquences

- **Cause** : Une défaillance dans le système de contrôle automatique de la pression.

- **Conséquence** : Si la pression n'est pas correctement régulée, une explosion pourrait se produire dans le réacteur, entraînant des dégâts matériels et des blessures graves pour les opérateurs.

Étape 4 : Proposer des mesures correctives

- Installation de **capteurs de pression** redondants pour détecter les surpressions plus tôt.
- Mise en place d'un **système de refroidissement d'urgence** pour éviter une surchauffe en cas de défaillance du système principal.
- Formation des opérateurs pour qu'ils puissent détecter rapidement les anomalies et réagir en cas de déviation.

8° Méthodes des arbres et du nœud papillon

Les **méthodes des arbres** et du **nœud papillon** sont des techniques d'analyse des risques utilisées pour modéliser et évaluer les causes, les conséquences, et les interactions des défaillances dans un système complexe. Ces méthodes sont très couramment utilisées dans l'analyse de sûreté et la gestion des risques industriels.

A - Arbre des défaillances (FTA - Fault Tree Analysis)

L'**arbre des défaillances** est une méthode d'analyse qui représente de manière **hiérarchique** les différentes causes (ou défaillances) menant à un événement indésirable (événement sommet ou événement de tête). Cette méthode est utilisée pour identifier les **causes profondes** des défaillances, en partant de l'événement final pour remonter aux causes initiales.

Objectifs :

- Identifier les **causes racines** d'une défaillance ou d'un accident.
- Déterminer les **combinaisons de causes** qui peuvent conduire à l'événement indésirable.
- Quantifier les risques en estimant la probabilité des défaillances.

B - Éléments et symboles de représentation

Pour représenter graphiquement un **arbre des défaillances**, plusieurs éléments et symboles standards sont utilisés pour structurer l'analyse.

1 - Événement sommet (ou événement de tête)

L'**événement sommet** représente l'accident ou l'incident que l'on cherche à éviter. C'est l'événement final de l'analyse et le point de départ de la construction de l'arbre.

Exemple : Dans une usine chimique, l'événement sommet pourrait être « explosion du réacteur » ou « fuite toxique ».

2 - Événements de base

Les **événements de base** sont les causes les plus simples et les plus directes d'une défaillance. Ils se trouvent au bas de l'arbre et ne sont pas analysés davantage dans l'arbre de défaillance. Ce sont généralement des défaillances des composants matériels, des erreurs humaines, ou des phénomènes externes.

Exemple : Un événement de base pourrait être la « défaillance d'une soupape de sécurité » ou « erreur humaine lors du réglage de la pression ».

3 - Événements intermédiaires

Les **événements intermédiaires** sont des défaillances qui se trouvent entre les événements de base et l'événement sommet. Ils représentent des défaillances plus complexes, souvent issues de la combinaison de plusieurs événements de base.

Exemple : « Pression trop élevée dans le réacteur » peut être un événement intermédiaire, causé par plusieurs événements de base, tels que la défaillance du capteur de pression ou la défaillance d'une valve.

4 - Événements conditionnels

Les **événements conditionnels** sont des événements qui se produisent sous certaines conditions spécifiques ou dans un contexte particulier. Ils modifient ou influencent la relation entre les événements.

Exemple : « Température ambiante élevée » peut être un événement conditionnel influençant les événements de défaillance dans un système de refroidissement.

5 - Portes logiques

Les **portes logiques** relient les événements dans un arbre de défaillance. Elles permettent de représenter les relations logiques entre les événements qui causent la défaillance finale.

- **Porte OU** : L'événement sommet survient si **au moins un** des événements en dessous se produit.
- **Porte ET** : L'événement sommet survient seulement si **tous** les événements en dessous se produisent simultanément.

Exemple : Si une explosion survient en raison d'une surpression **ET** d'une défaillance du système de ventilation, on utilise une porte ET.

C - Principes d'élaboration

L'élaboration d'un arbre de défaillance repose sur une démarche systématique qui consiste à identifier les causes à plusieurs niveaux de décomposition.

1 - Recherche des causes immédiates, nécessaires et suffisantes

La première étape consiste à identifier les **causes immédiates** de l'événement sommet. Cela implique d'identifier les événements ou défaillances qui sont **nécessaires** et **suffisants** pour que l'événement indésirable se produise.

Exemple : Pour une explosion, les causes immédiates peuvent être la « surpression dans le réacteur » et une « défaillance du système de sécurité ».

2 - Classement des événements intermédiaires

Les événements intermédiaires sont **classés** et **organisés** en fonction de leur niveau dans l'arbre. Chaque événement intermédiaire est relié à plusieurs événements de base, qui sont les causes plus fondamentales.

3 - Recherche des causes immédiates, nécessaires et suffisantes des événements intermédiaires

On continue à décomposer les événements intermédiaires jusqu'à arriver aux événements de base. Chaque événement intermédiaire doit être expliqué par une série d'événements plus fondamentaux, jusqu'à ce qu'on atteigne un niveau où aucune décomposition supplémentaire n'est nécessaire.

4 - Démarche interactive

L'élaboration d'un arbre de défaillance est une démarche **interactive**, impliquant plusieurs itérations pour affiner l'arbre et s'assurer que toutes les causes possibles ont été correctement identifiées. Les équipes doivent collaborer pour s'assurer que chaque cause a été analysée de manière exhaustive.

D - Mise en œuvre

La mise en œuvre de la méthode de l'arbre des défaillances passe par deux étapes essentielles.

1 - Définition de l'événement sommet

L'événement sommet doit être clairement défini. Il s'agit généralement d'un événement grave ou d'un accident que l'on cherche à éviter, comme un incendie, une explosion, une fuite toxique, ou une panne critique.

2 - Construction de l'arbre

Une fois l'événement sommet défini, l'arbre est construit en commençant par identifier les causes immédiates de cet événement, puis en décomposant les causes en événements intermédiaires et événements de base. Les portes logiques sont utilisées pour représenter les relations entre les événements.

E - Exploitation de l'arbre

L'arbre de défaillance peut être exploité de différentes manières pour améliorer la gestion des risques.

1 - Niveau système

Au niveau du système, l'arbre permet de visualiser les **relations de cause à effet** dans un processus ou un équipement. Il aide à identifier les points critiques où des actions correctives doivent être mises en place.

2 - Analyse qualitative

L'analyse qualitative consiste à examiner l'arbre pour identifier les **scénarios de défaillance** les plus probables et les plus critiques. Elle permet d'identifier les combinaisons de causes qui sont les plus susceptibles de provoquer l'événement indésirable.

3 - Analyse quantitative

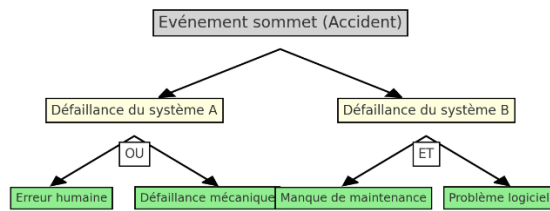
L'analyse quantitative permet de **calculer la probabilité** de l'événement sommet en utilisant les taux de défaillance des composants et les événements de base. Cela permet d'estimer les risques et de prioriser les actions correctives.

4 - Apport de la méthode

La méthode de l'arbre de défaillance permet de :

- Visualiser clairement les **causes racines** d'un accident ou d'une défaillance.
- Quantifier les risques et identifier les **zones critiques** du système.
- Proposer des **mesures préventives** en amont pour éviter que les scénarios de défaillance ne se réalisent.

Exemple d'Arbre de Défaillance



2° Arbres des évènements

A - Objet de la méthode de l'arbre des événements

L'**arbre des événements** est une méthode d'analyse des risques utilisée pour étudier les **conséquences possibles d'un événement initial** (généralement une défaillance ou un accident). Elle permet d'évaluer les réponses des systèmes de sécurité ou de contrôle et d'identifier les scénarios de défaillance potentiels.

Objectifs :

- Analyser les différentes **conséquences d'un événement**.
- Évaluer la **performance des systèmes de sécurité**.
- Étudier les **réactions en cascade** à partir d'un événement déclencheur.

B - Principe de la méthode

Le **principe** de l'arbre des événements consiste à partir d'un **événement initial** (souvent une défaillance ou une situation anormale) et à explorer les différents scénarios possibles en fonction des réactions des systèmes ou des actions prises après l'événement. Chaque embranchement représente une bifurcation entre deux issues possibles : succès ou échec.

Étapes :

1. **Identification de l'événement initial** : Le point de départ de l'analyse (ex. : fuite de gaz).

2. **Détermination des barrières de sécurité** : Identifier les systèmes ou procédures censés gérer l'événement (ex. : détection, alarme, intervention humaine).
3. **Création de l'arbre** : Représenter graphiquement les bifurcations selon que chaque barrière fonctionne ou échoue.
4. **Évaluation des résultats finaux** : Chaque branche conduit à un résultat final qui peut être positif ou négatif (évacuation réussie, incendie, explosion, etc.).

C - Application

L'arbre des événements est particulièrement utilisé dans les **industries à haut risque**, telles que le nucléaire, la chimie, ou le transport. Il permet d'évaluer l'efficacité des systèmes de sécurité en place face à un événement déclencheur.

Exemple d'application :

Dans une **centrale nucléaire**, l'événement initial pourrait être une défaillance du système de refroidissement. L'arbre des événements permettrait d'étudier si les systèmes d'alarme, de secours, et les procédures d'évacuation fonctionnent correctement, ou si l'événement conduit à un accident grave (fusion du cœur).

D - Exploitation de l'arbre

1 - Analyse qualitative

L'analyse qualitative consiste à examiner l'arbre des événements pour identifier les **chemins critiques** qui conduisent à des résultats négatifs. Cette analyse permet de repérer les failles potentielles dans les systèmes de sécurité.

- **Objectif** : Identifier les scénarios où les systèmes de protection échouent et proposer des améliorations.

2 - Analyse quantitative

L'analyse quantitative attribue des **probabilités** à chaque branche de l'arbre (succès ou échec des systèmes de sécurité). Cette évaluation permet de **calculer la probabilité** des scénarios finaux, y compris les pires cas (par exemple, un accident grave ou une explosion).

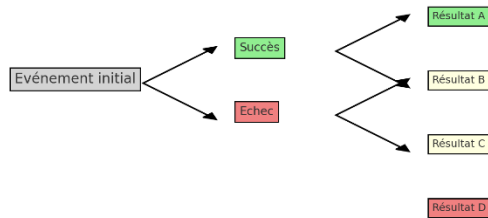
- **Objectif** : Quantifier les risques pour évaluer les probabilités des différents résultats.

3 - Apport de la méthode

- **Visualisation** claire des scénarios possibles et des chemins de défaillance.

- **Quantification des risques** permettant de prioriser les actions correctives.
- Identification des **points critiques** où des améliorations peuvent être apportées pour renforcer la sécurité.

Exemple d'Arbre des Événements



3° Méthode du nœud papillon

La **méthode du nœud papillon** (ou "Bow Tie Analysis") est une approche combinant les principes de l'**arbre des défaillances (Fault Tree Analysis)** et de l'**arbre des événements (Event Tree Analysis)** pour offrir une vue globale des **causes** et **conséquences** d'un événement dangereux, ainsi que des **barrières** mises en place pour le prévenir et en limiter les effets. Cette méthode est très utilisée pour **identifier les risques majeurs** et les **contrôler** efficacement.

A - Objet de la méthode

L'objectif de la méthode du nœud papillon est de représenter de façon visuelle les **relations entre les causes, l'événement central (danger), et les conséquences**. Cette méthode permet de :

- Identifier les **causes** qui peuvent déclencher un événement dangereux.
- Cartographier les **barrières de prévention** qui réduisent la probabilité d'apparition des causes.
- Visualiser les **conséquences possibles** après que l'événement central a eu lieu.
- Déterminer les **barrières de protection** ou d'atténuation mises en place pour limiter l'impact de ces conséquences.

Le diagramme en forme de nœud papillon représente un **équilibre visuel** entre les causes (à gauche) et les conséquences (à droite), avec l'événement central au centre.

B - Principe de la méthode

Le **principe** de la méthode du nœud papillon repose sur la représentation graphique de deux éléments :

1. **Arbre des défaillances (à gauche)** : Analyse les causes qui peuvent mener à l'événement dangereux (défaillance d'équipements, erreurs humaines, etc.).
2. **Arbre des événements (à droite)** : Explore les conséquences possibles une fois que l'événement dangereux s'est produit, en prenant en compte les systèmes de protection ou de mitigation (systèmes d'alarme, plans d'évacuation, etc.).

Étapes principales :

- **Événement central (nœud)** : L'événement dangereux (ex. : explosion, fuite toxique).
- **Causes** : Déterminer les causes principales qui peuvent entraîner cet événement, en utilisant une approche similaire à l'arbre des défaillances.
- **Barrières de prévention** : Identifier les barrières qui empêchent ces causes de mener à l'événement central.
- **Conséquences** : Identifier les effets de l'événement dangereux, avec une approche similaire à l'arbre des événements.
- **Barrières de mitigation** : Déterminer les barrières qui atténuent ou limitent les conséquences après l'événement.

C - Application de la méthode

1. Application qualitative

L'application **qualitative** de la méthode du nœud papillon consiste à **identifier** et **analyser** les causes, conséquences, et barrières sans quantifier les probabilités ou les taux de défaillance. Cette approche est souvent utilisée dans les premières phases de la gestion des risques pour obtenir une **vue d'ensemble**.

Étapes de l'analyse qualitative :

- **Identification des causes et conséquences** : Par un travail en groupe, les différents scénarios possibles sont identifiés.
- **Barrières de prévention et de mitigation** : Définition des systèmes en place pour empêcher l'événement central ou atténuer ses conséquences (barrières techniques, humaines, et organisationnelles).

Exemple : Dans une usine chimique, l'événement central pourrait être une **fuite de gaz toxique**. Une analyse qualitative pourrait identifier les causes possibles comme une défaillance de valve, et les conséquences comme l'exposition des travailleurs. Les barrières de prévention incluraient des **capteurs de détection de gaz**, et les barrières de mitigation seraient un **système d'évacuation** ou des **masques de protection**.

2. Application quantitative

L'application **quantitative** de la méthode du nœud papillon inclut la **quantification des risques** en attribuant des probabilités aux causes et conséquences. Les **taux de défaillance** des barrières sont également évalués pour obtenir une **estimation chiffrée** des risques globaux.

Étapes de l'analyse quantitative :

- **Probabilités des causes** : Calcul des probabilités que les événements de base se produisent (par exemple, en utilisant des bases de données sur les défaillances d'équipements ou des statistiques historiques).
- **Probabilités des conséquences** : Estimation des probabilités que les conséquences surviennent après l'événement central.
- **Efficacité des barrières** : Quantification de la fiabilité des barrières de prévention et de mitigation pour réduire le risque total.

Exemple : Pour une fuite de gaz, l'analyse quantitative pourrait évaluer la probabilité de défaillance d'une valve (par exemple, 0,001) et la probabilité de défaillance du système d'alarme (0,002). La **probabilité finale** que l'événement dangereux se produise et que des conséquences graves surviennent serait alors calculée.

3. Apport de la méthode

La méthode du nœud papillon présente plusieurs avantages :

- **Vision globale** : Elle permet de visualiser l'intégralité d'un risque, en reliant **causes, conséquences, et barrières** dans un seul schéma. Cela donne une vue d'ensemble des risques, des protections en place et des éventuels points faibles.
- **Identification des barrières manquantes** : L'analyse aide à repérer où des **barrières supplémentaires** sont nécessaires, soit pour prévenir l'événement central, soit pour atténuer ses conséquences.
- **Facilité de communication** : Grâce à sa représentation visuelle intuitive, la méthode est un excellent outil pour **communiquer** les risques aux parties prenantes (direction, régulateurs, employés).
- **Amélioration continue** : L'approche permet d'identifier des mesures d'amélioration à mettre en œuvre pour réduire les risques de façon proactive.

9° L'analyse source / flux / cible/ : méthode MADS - MOSAR

La méthode **MADS-MOSAR** (Méthode d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes-Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques) est une approche systématique et structurée utilisée pour analyser et gérer les risques dans des systèmes complexes. Elle repose sur une analyse en plusieurs étapes visant à identifier les sources de danger, les flux de risque et les cibles potentielles d'un accident, puis à mettre en place des barrières de prévention, de protection et de mitigation pour réduire les risques.

A - Analyse macroscopique (Module A)

L'analyse **macroscopique** de la méthode MADS-MOSAR consiste à évaluer le système dans son ensemble, à identifier les dangers principaux, et à mettre en place des stratégies globales pour réduire les risques. Il s'agit d'une vue d'ensemble, où les principales sources de danger et leurs flux sont analysés.

1 - Représenter l'installation

La première étape consiste à **cartographier l'installation** ou le système à analyser, en identifiant les composants, les flux de matière, d'énergie et d'information. Cela permet de visualiser l'ensemble du système et de comprendre les interactions entre ses différentes parties.

- **Exemple** : Représentation schématique d'une usine chimique, avec ses différents réacteurs, pipelines, systèmes de stockage, etc.

2 - Identifier les dangers et les scénarii d'accidents principaux

Une fois l'installation représentée, il est nécessaire d'**identifier les dangers** principaux présents dans le système (produits chimiques dangereux, équipements sous pression, etc.) et d'envisager les **scénarios d'accidents** possibles.

- **Exemple** : Fuite de gaz toxique, explosion d'un réservoir sous pression.

3 - Évaluer les risques principaux

Pour chaque danger identifié, on évalue la **gravité** et la **probabilité** de survenue d'un accident. Cela permet de hiérarchiser les risques et de se concentrer sur les scénarios d'accidents les plus critiques.

- **Exemple** : Évaluer le risque d'explosion lié à une surpression dans un réacteur et les conséquences pour les employés et l'environnement.

4 - Négocier les objectifs globaux

Les parties prenantes (direction, équipes de sécurité, autorités) doivent **négocier des objectifs globaux** en matière de prévention et de protection, en fonction des risques identifiés et des ressources disponibles. Cela inclut la **tolérance au risque** et les niveaux de protection souhaités.

- **Exemple** : Fixer un objectif de "zéro incident majeur" ou de "réduction de 50% des risques d'explosion".

5 - Définir et qualifier les barrières principales

À partir des objectifs globaux, il est nécessaire de **définir les barrières principales** à mettre en place pour prévenir les accidents, protéger les employés et atténuer les conséquences des incidents. Ces barrières peuvent être techniques (systèmes de sécurité) ou organisationnelles (protocoles d'urgence).

- **Exemple** : Installation de soupapes de sécurité sur les réacteurs sous pression, formation du personnel aux procédures d'évacuation.

B - Analyse microscopique (Module B)

L'analyse **microscopique** entre dans les détails des **opérations spécifiques** et des **scénarios de défaillance** individuels, en étudiant les risques de fonctionnement des composants du système. Il s'agit d'une analyse plus fine que l'analyse macroscopique, permettant d'identifier des défaillances locales.

1 - Identifier les risques de fonctionnement

L'analyse microscopique permet d'identifier les **risques spécifiques de fonctionnement** de chaque sous-système ou composant. Cela inclut les risques associés aux défaillances matérielles, aux erreurs humaines, aux procédés défaillants, etc.

- **Exemple** : Risque de surchauffe dans un échangeur de chaleur en cas de défaillance de la pompe de refroidissement.

2 - Évaluer les risques en construisant des arbres logiques et en les qualifiant

L'analyse se poursuit par la construction d'**arbres logiques** (arbre de défaillances ou de causes), qui permettent de visualiser les enchaînements de défaillances et de qualifier chaque risque en termes de gravité et de probabilité. Ces arbres permettent d'identifier les combinaisons de défaillances qui pourraient entraîner un accident.

- **Exemple** : Arbre de défaillance montrant que la surchauffe pourrait résulter d'une défaillance simultanée de la pompe de refroidissement et du capteur de température.

3 - Négocier des objectifs précis de prévention, protection et mitigation

Une fois les risques spécifiques identifiés, des **objectifs précis** de prévention, de protection et de mitigation sont négociés avec les parties prenantes. Ces objectifs doivent être clairs et réalisables.

- **Exemple** : Objectif de mettre en place des systèmes redondants pour le refroidissement, afin de limiter le risque de surchauffe.

4 - Définir les moyens complémentaires de prévention, protection et mitigation

Pour atteindre les objectifs définis, des **mesures complémentaires** de prévention, de protection et de mitigation doivent être mises en place. Cela peut inclure l'ajout d'équipements de sécurité supplémentaires ou la mise à jour des procédures de sécurité.

- **Exemple** : Installation d'un système de refroidissement d'urgence indépendant en cas de défaillance du système principal.

5 - Gérer les risques

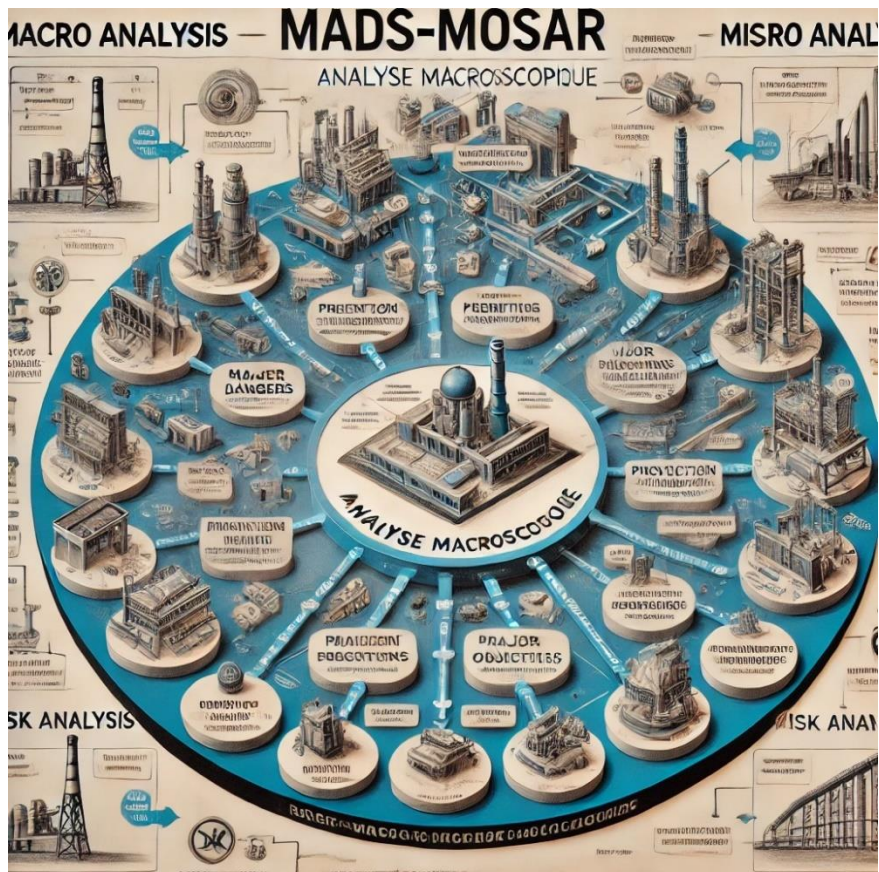
Une fois toutes les mesures mises en place, il est essentiel de **suivre et de gérer les risques** de manière continue. Cela inclut la mise à jour régulière des analyses de risques, la formation des employés, et la maintenance des équipements de sécurité.

- **Exemple** : Plan de maintenance préventive pour les systèmes de sécurité et révision annuelle des procédures de sécurité.

C - Conclusion

La méthode **MADS-MOSAR** permet une **analyse complète et structurée** des risques, en prenant en compte à la fois les aspects **macroscopiques** (vue d'ensemble du système et des dangers globaux) et **microscopiques** (détails des défaillances spécifiques et des scénarios d'accidents). Elle permet de **négocier des objectifs de sécurité**, de **définir des barrières de protection** efficaces et de **gérer les risques** de manière continue, en s'assurant que les mesures de prévention, de protection et de mitigation sont adaptées et fonctionnent correctement.

Cette approche est particulièrement adaptée aux **systèmes complexes** et aux industries à haut risque (chimie, nucléaire, pétrochimie), où une **gestion proactive des risques** est essentielle pour prévenir les accidents et protéger les travailleurs et l'environnement.



D - Étapes d'utilisation de MADS-MOSAR dans l'industrie

1. Étape Préparatoire : Constitution de l'Équipe et Définition du Périmètre

Avant de commencer l'analyse, il est essentiel de :

- **Constituer une équipe pluridisciplinaire** : Ingénieurs, responsables HSE (Hygiène Sécurité Environnement), techniciens, opérateurs, et éventuellement des experts externes. Cela permet d'avoir une vision complète des processus et des risques.
- **Définir le périmètre de l'analyse** : Il peut s'agir d'une installation industrielle spécifique (comme une raffinerie, une centrale chimique, etc.) ou d'un processus particulier au sein de l'usine (réaction chimique, production d'énergie, etc.).

2. Analyse Macroscopique (Module A)

L'analyse **macroscopique** se concentre sur une vue d'ensemble de l'installation et des principaux risques identifiés.

a. Représenter l'installation

Cartographier l'installation industrielle ou le processus complet à l'étude en identifiant les flux de matières, d'énergie, et les infrastructures critiques. Cette étape permet de **visualiser les interactions** entre les différentes parties du système.

- **Exemple** : Dans une usine pétrochimique, identifier les unités de raffinage, les pipelines de transport de produits chimiques, et les réservoirs de stockage.

b. Identifier les dangers et scénarios d'accidents principaux

Une fois l'installation représentée, identifier les **principaux dangers** présents (produits inflammables, réacteurs sous pression, toxines) et élaborer les scénarios d'accidents possibles.

- **Exemple** : Fuite d'un réservoir contenant des produits inflammables, explosion due à une surpression dans un réacteur.

c. Évaluer les risques principaux

Chaque danger est évalué en termes de **probabilité et de gravité**. Cette évaluation permet de hiérarchiser les risques.

- **Exemple** : Le risque d'explosion dans une unité sous pression pourrait être classé comme critique avec un impact élevé sur la sécurité des employés et l'environnement.

d. Négocier les objectifs globaux

Il est essentiel de **fixer des objectifs de sécurité** globaux, en fonction des risques identifiés et des ressources disponibles. Cette étape implique généralement la direction de l'entreprise.

- **Exemple** : Un objectif peut être de réduire la probabilité d'accident majeur à 1 incident pour 10 000 ans de fonctionnement.

e. Définir et qualifier les barrières principales

Il est nécessaire de définir les **barrières de prévention** (techniques et organisationnelles) pour éviter les accidents ou limiter leurs conséquences.

- **Exemple** : Installation de capteurs de pression pour détecter les surpressions, mise en place de procédures d'arrêt d'urgence, formation régulière des employés.

3. Analyse Microscopique (Module B)

L'analyse **microscopique** entre dans le détail des défaillances potentielles à un niveau plus granulaire.

a. Identifier les risques de fonctionnement

Identifier les **risques de défaillance** spécifiques à chaque composant ou sous-système (équipements, processus, opérations humaines).

- **Exemple** : Défaillance d'une pompe de refroidissement dans un réacteur chimique, qui pourrait entraîner une surchauffe.

b. Évaluer les risques avec des arbres logiques

Créer des **arbres de défaillance** (FTA) et des **arbres d'événements** pour cartographier les scénarios de défaillance et les enchaînements possibles.

- **Exemple** : Si la pompe de refroidissement échoue, quels systèmes d'alarme ou de secours sont disponibles ? Quel est le chemin vers une défaillance grave (incendie, explosion) ?

c. Négocier des objectifs de prévention, protection et mitigation

Pour chaque défaillance identifiée, des **objectifs spécifiques** de prévention et de protection sont définis.

- **Exemple** : Mise en place de systèmes de redondance pour la pompe de refroidissement afin d'éviter toute défaillance critique.

d. Définir les moyens complémentaires de protection

Il est essentiel de mettre en place des **mesures supplémentaires** pour assurer la protection, telles que des dispositifs de sécurité supplémentaires, des procédures d'exploitation, et des équipements de protection.

- **Exemple** : Installation d'une ligne de secours indépendante pour l'alimentation des systèmes critiques.

e. Gérer les risques

Une fois les mesures mises en œuvre, il faut **gérer les risques** de façon continue en surveillant les systèmes et en effectuant des mises à jour régulières de l'analyse des risques.

- **Exemple** : Mise en place d'un calendrier de maintenance préventive pour les équipements de sécurité, formation annuelle du personnel, audits réguliers.

4. Suivi et mise à jour des analyses

Les analyses MADS-MOSAR ne sont pas statiques. Elles doivent être **révisées régulièrement** pour intégrer les changements dans l'installation (nouveaux équipements, changements de processus) et les retours d'expérience (accidents évités, incidents survenus dans d'autres sites similaires).

Titre III : Réglementation

1° La réglementation ICPE / SEVESO

A - Historique et réglementation

1- Historique

La réglementation concernant les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) en France a évolué au fil des décennies, parallèlement à la prise de conscience croissante des risques industriels et environnementaux. Voici un aperçu des principales étapes de cette évolution :

- **1810 : Première législation sur les nuisances industrielles**
 - Le décret impérial du 15 octobre 1810, sous Napoléon Bonaparte, est la première législation en France à réglementer les établissements dangereux, insalubres ou incommodes. Ce texte impose des règles pour réduire les nuisances liées aux activités industrielles, en particulier les nuisances olfactives et sonores.
- **1917 : Création de la nomenclature des ICPE**
 - La loi du 19 décembre 1917 institue la première nomenclature officielle des installations classées. Cette nomenclature définit les activités soumises à autorisation ou déclaration préalable en fonction de leur potentiel de danger pour l'environnement et la santé publique.
- **1976 : Loi sur les installations classées**
 - La loi du 19 juillet 1976 marque un tournant important en matière de protection de l'environnement en France. Elle renforce les exigences pour les installations classées et introduit des notions de prévention des pollutions et de protection de l'environnement.
- **1982 : Directive Seveso**
 - Suite à l'accident industriel de Seveso en Italie en 1976, l'Union Européenne adopte la première directive Seveso en 1982. Cette directive impose des obligations strictes aux installations présentant des risques majeurs, notamment en matière de prévention des accidents et de gestion des risques.
- **2003 : Loi Bachelot**
 - La loi du 30 juillet 2003, dite "loi Bachelot", renforce les mesures de prévention des risques industriels en France, notamment après la catastrophe de l'usine AZF à Toulouse en 2001. Cette loi introduit les Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) pour encadrer l'urbanisation autour des sites à risques.
- **2012 : Directive Seveso III**
 - Entrée en vigueur en 2012, la directive Seveso III met à jour les dispositions de la directive précédente en tenant compte de l'évolution des connaissances sur les substances dangereuses et des nouvelles exigences en matière de transparence et d'information du public.

- **2020 : Intégration du règlement européen sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances chimiques (CLP)**
 - Le règlement CLP, aligné sur le Système Général Harmonisé (SGH) des Nations Unies, est intégré dans la réglementation française, modifiant les critères de classement des substances dangereuses et renforçant les obligations de signalement et d'information.

Chronologie interactive : Exploration des grandes dates marquantes de la réglementation ICPE/SEVESO :

- **1810** : Décret impérial sur les nuisances industrielles.
- **1917** : Création de la première nomenclature des ICPE.
- **1976** : Loi sur les installations classées.
- **1982** : Adoption de la directive Seveso I.
- **1996** : Directive Seveso II, suite à de nouveaux accidents industriels.
- **2003** : Loi Bachelot, renforcement de la gestion des risques.
- **2012** : Directive Seveso III, mise à jour des réglementations européennes.
- **2020** : Intégration du règlement CLP dans la réglementation ICPE.

Cette chronologie permet d'appréhender l'évolution des réglementations en réponse aux catastrophes industrielles et aux progrès dans la compréhension des risques. Elle souligne l'importance croissante accordée à la prévention des risques, à la protection de l'environnement, et à la transparence envers le public.

L'exploration de ces dates peut être enrichie par des illustrations des accidents qui ont marqué chaque période et ont conduit à des changements législatifs, comme Seveso, Bhopal, ou AZF, pour mettre en lumière l'impact des catastrophes industrielles sur l'évolution des réglementations.

2 – Définition

- **ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement)** : Les ICPE sont des installations ou des activités industrielles et agricoles susceptibles de créer des risques pour l'environnement ou la santé publique. En France, ces installations sont soumises à une réglementation stricte selon leur type et leur dangerosité, avec des obligations d'autorisation ou de déclaration préalable auprès des autorités préfectorales.
- **SEVESO** : La directive Seveso est une réglementation européenne visant à prévenir les accidents majeurs impliquant des substances dangereuses et à limiter leurs conséquences sur la santé humaine et l'environnement. Il existe deux seuils (Seveso seuil bas et seuil haut) selon la quantité de substances dangereuses présentes sur un site, ce qui détermine le niveau de contrôle réglementaire.
- **CLP (Classification, Labelling and Packaging)** : Le règlement CLP est une réglementation européenne qui harmonise la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances chimiques dangereuses. Inspiré du Système Général Harmonisé (SGH) des Nations Unies, le CLP vise à garantir une communication claire et cohérente des dangers associés aux produits chimiques dans toute l'Union Européenne.

3-Objectifs :

La réglementation intégrée des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) a pour but de regrouper dans un cadre cohérent et global toutes les obligations légales et réglementaires concernant la gestion des risques, la prévention de la pollution, et la protection de l'environnement pour les installations industrielles et agricoles.

Objectifs principaux :

- a. **Simplification administrative** : Harmoniser les différentes réglementations environnementales (eau, air, sol, déchets, bruit) afin de réduire la complexité pour les entreprises tout en renforçant le contrôle et la prévention des risques.
- b. **Prévention des risques** : Établir des mesures de prévention et de réduction des risques environnementaux et sanitaires liés aux activités des installations classées.
- c. **Protection de l'environnement** : Assurer un niveau élevé de protection de l'environnement en obligeant les exploitants à mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles (MTD).
- d. **Responsabilité de l'exploitant** : Renforcer la responsabilité de l'exploitant en matière de gestion des risques, de sécurité et de protection de l'environnement.

4. Les Piliers de la Réglementation Intégrée :

Permis Environnemental Unique :

- Le principe de la réglementation intégrée repose souvent sur la délivrance d'un permis unique qui couvre tous les aspects environnementaux, incluant les émissions dans l'air, l'eau, les déchets, le bruit, etc. Cela remplace les multiples autorisations nécessaires auparavant et facilite la gestion réglementaire pour les exploitants.

Meilleures Techniques Disponibles (MTD) :

- Les exploitants d'ICPE doivent appliquer les MTD pour minimiser l'impact de leurs installations sur l'environnement. Les MTD sont définies dans des documents de référence appelés BREFs (Best Available Techniques Reference Documents) à l'échelle européenne, qui décrivent les technologies les plus efficaces et les mesures à mettre en œuvre.

Évaluation et Gestion des Risques :

- L'évaluation des risques potentiels pour l'environnement et la santé humaine est une composante essentielle de la réglementation intégrée. Les exploitants doivent réaliser des études d'impact environnemental, évaluer les risques d'accidents majeurs, et mettre en place des plans de prévention et d'intervention pour minimiser les conséquences en cas d'incidents.

Suivi et Contrôles :

- Les installations classées sont soumises à des contrôles réguliers par les autorités compétentes pour vérifier leur conformité avec les exigences réglementaires. Les exploitants doivent également mettre en place des systèmes de surveillance continue des émissions et des impacts environnementaux.

5. Avantages et Défis de la Réglementation Intégrée :

Avantages :

- **Efficacité accrue** : Réduction des procédures administratives redondantes, simplification des démarches pour les entreprises.
- **Meilleure gestion des risques** : Une approche intégrée permet une vision globale des impacts et des risques, facilitant une gestion plus efficace et cohérente.
- **Protection environnementale renforcée** : L'application des MTD et la surveillance continue des installations favorisent une réduction significative des impacts environnementaux.

Défis :

- **Complexité technique** : La mise en œuvre des MTD peut nécessiter des investissements importants et des connaissances techniques avancées.
- **Adaptabilité** : Les réglementations doivent être régulièrement mises à jour pour suivre les évolutions technologiques et les nouvelles menaces environnementales.
- **Coût pour les entreprises** : Les exigences en matière de prévention et de contrôle des risques peuvent entraîner des coûts supplémentaires pour les entreprises, notamment en termes de mise à jour des installations et de formation du personnel.

6. Conclusion :

La réglementation intégrée des ICPE représente une avancée majeure dans la protection de l'environnement et la prévention des risques industriels. En regroupant toutes les exigences réglementaires sous un cadre unique et cohérent, elle permet une gestion plus efficace et transparente des installations classées. Pour les exploitants, cela implique non seulement une conformité réglementaire rigoureuse mais aussi une responsabilité accrue dans la gestion des risques et la protection de l'environnement.

B- Nomenclature des ICPE (cf annexe 1) :

1-Nomenclature Actuelle

Discussion sur les Codes de Nomenclature des ICPE

La nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) est un système de classification des activités industrielles et agricoles susceptibles de présenter des risques pour l'environnement ou la santé humaine. Chaque activité est identifiée par un code à quatre chiffres, appelé "rubrique". Ce système permet de déterminer les obligations réglementaires auxquelles une installation est soumise, que ce soit en termes d'autorisation, d'enregistrement, ou de simple déclaration.

1.a Structure des Codes de Nomenclature :

- **Les quatre chiffres des codes** :
 - Le premier chiffre (ou les deux premiers) indique la famille de l'activité. Par exemple, "2" pour les installations de combustion ou "1" pour les activités liées à la production et au traitement de produits chimiques.
 - Les deux derniers chiffres précisent la nature spécifique de l'activité au sein de cette famille. Par exemple, la rubrique **1510** correspond aux "entrepôts" tandis que **2910** concerne les "installations de combustion".
- **Exemple de Codes Courants** :

- **1510 - Entrepôts** : Ce code est utilisé pour les installations de stockage de marchandises, matériaux, ou produits, susceptibles de présenter des dangers pour l'environnement.
- **1432 - Stockage de matières combustibles** : Ce code concerne les installations qui stockent des matières inflammables, comme des hydrocarbures ou des produits chimiques combustibles.

1.b Critères de Classement :

Les installations sont classées en fonction de plusieurs critères :

- **La nature de l'activité** : Par exemple, production d'énergie, stockage de substances dangereuses, traitement de déchets, etc.
- **La quantité de substances utilisées ou stockées** : Par exemple, une installation qui stocke une grande quantité de produits chimiques sera soumise à des exigences plus strictes.
- **La dangerosité des substances** : Certaines substances, comme les explosifs ou les matières radioactives, entraînent des réglementations très spécifiques. Ces informations se trouvent dans la FDS du produit.

1.c Les Différents Régimes :

- **Déclaration** : Ce régime concerne les installations qui présentent des risques modérés. Elles doivent être déclarées aux autorités compétentes, qui peuvent imposer des prescriptions spécifiques.
- **Enregistrement** : Il s'applique aux installations présentant des risques significatifs mais bien connus. Un dossier d'enregistrement est nécessaire, et des prescriptions types sont imposées.
- **Autorisation** : Pour les installations présentant des risques élevés, une autorisation préalable est nécessaire, accompagnée d'une enquête publique. Ce régime impose des études d'impact et des plans de prévention.

1.d Cas Spécifiques : Les Installations SEVESO

Certaines installations sont soumises à la directive SEVESO, en fonction des quantités et de la nature des substances dangereuses présentes. Ces installations sont classées en deux niveaux : SEVESO seuil haut et SEVESO seuil bas, avec des obligations croissantes en termes de prévention et de gestion des risques.

1.e Conclusion :

La nomenclature des ICPE est un outil essentiel pour la régulation des activités à risque en France. Elle permet de catégoriser les installations en fonction des dangers qu'elles représentent et de définir les obligations réglementaires correspondantes. Ce système de classification est dynamique, évoluant avec les avancées technologiques et les retours d'expérience pour mieux protéger l'environnement et la santé publique.

2-Régimes (Niveaux) de Classement :

En France, les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) sont soumises à différents régimes de classement en fonction de leur nature et des risques qu'elles présentent. Ces régimes déterminent les démarches administratives à suivre et les obligations à respecter. Voici une explication des différents régimes, suivie d'un cas pratique pour évaluer le régime applicable à une installation fictive.

1. Explication des Régimes de Classement

1.1 Déclaration

- **Définition** : Les installations soumises au régime de déclaration sont celles qui présentent un faible risque pour l'environnement et la santé publique. Ces installations doivent être déclarées à la préfecture mais ne nécessitent pas d'autorisation préalable.
- **Obligations** : Le propriétaire de l'installation doit fournir une déclaration de conformité avec la réglementation en vigueur, détaillant les mesures mises en place pour prévenir les risques. Cette déclaration est souvent accompagnée d'un dossier technique simplifié.
- **Exemples** : Petits laboratoires de recherche ne manipulant que de faibles quantités de produits chimiques, certaines activités de stockage à faible volume.

1.2 Enregistrement

- **Définition** : Les installations soumises au régime d'enregistrement présentent un risque modéré. Ce régime est plus contraignant que celui de la déclaration, mais moins complexe que celui de l'autorisation.
- **Obligations** : L'installation doit soumettre un dossier détaillé incluant une étude de risques et un plan de prévention. L'enregistrement est souvent soumis à des inspections périodiques pour vérifier la conformité.
- **Exemples** : Laboratoires de recherche et de développement avec des installations plus importantes, sites de stockage de produits chimiques en quantités modérées.

1.3 Autorisation

- **Définition** : Les installations nécessitant une autorisation sont celles qui présentent des risques importants pour l'environnement et la santé. Ces installations doivent obtenir une autorisation préalable avant de commencer leur activité.
- **Obligations** : Le dossier soumis pour l'autorisation est très complet et comprend une étude d'impact environnemental, une analyse des risques, et un plan de gestion des urgences. L'installation est régulièrement contrôlée par les autorités compétentes.
- **Exemples** : Grandes installations chimiques, sites de fabrication de produits dangereux, laboratoires utilisant des substances à haut risque.

3 - La Directive SEVESO 3

3.1 Définition de la Directive SEVESO 3

La directive SEVESO 3, officiellement connue sous le nom de Directive 2012/18/UE, est une réglementation de l'Union Européenne qui vise à prévenir les accidents majeurs impliquant des substances dangereuses et à limiter leurs conséquences pour les personnes et l'environnement. Elle est la troisième version de la directive SEVESO, qui tire son nom de l'accident industriel de Seveso en Italie en 1976.

3.2 Principaux Objectifs :

- **Prévention des Accidents Majeurs** : Identifier et évaluer les risques associés aux substances dangereuses.
- **Protection de la Population et de l'Environnement** : Mettre en place des mesures de sécurité pour éviter les accidents et minimiser les impacts en cas d'incidents.
- **Information et Communication** : Assurer la transparence en informant le public et les autorités sur les risques et les mesures de sécurité.

3.3 Champs d'Application :

La directive s'applique aux établissements où sont stockées, utilisées ou traitées des substances dangereuses au-delà des seuils spécifiés. Les établissements sont classés en deux catégories :

- **Seuil Haut** : Pour les installations présentant des risques significatifs.
- **Seuil Bas** : Pour les installations présentant des risques plus faibles mais nécessitant tout de même des mesures de sécurité spécifiques.

4 - Impact de la Directive SEVESO 3 sur la Sécurité Industrielle

La directive SEVESO 3 a un impact profond sur la gestion des risques dans les installations industrielles. Voici quelques-uns des impacts clés :

4.1 Amélioration des Normes de Sécurité

- **Évaluation des Risques** : Les entreprises doivent réaliser des études de dangers et des analyses de risques pour identifier et évaluer les dangers potentiels.
- **Planification des Mesures de Sécurité** : Les installations doivent élaborer des plans de prévention des accidents majeurs et des plans d'intervention en cas d'urgence.

4.2 Renforcement des Obligations de Communication

- **Information du Public** : Les entreprises doivent fournir des informations claires et accessibles au public sur les risques et les mesures de prévention mises en place.
- **Transparence avec les Autorités** : Les entreprises doivent communiquer régulièrement avec les autorités locales et nationales sur les risques et les mesures de sécurité.

4.3 Exigences de Formation et d'Exercice

- **Formation des Employés** : Les employés doivent être formés aux procédures de sécurité et aux réponses d'urgence.
- **Exercices de Simulation** : Les entreprises doivent organiser des exercices réguliers pour tester les plans d'intervention en cas d'accident.

4.4 Obligations de Révision et d'Amélioration Continue

- **Révisions Périodiques** : Les plans de sécurité doivent être révisés et mis à jour régulièrement pour refléter les changements dans les opérations et les risques.
- **Amélioration Continue** : Les installations doivent mettre en place des processus pour améliorer continuellement la sécurité et la gestion des risques.

5 - Étude de Cas : Implémentation de SEVESO 3 dans une Entreprise

Contexte de l'Entreprise

Imaginons une entreprise chimique de taille moyenne spécialisée dans la fabrication de produits chimiques organiques. Cette entreprise traite des quantités importantes de substances dangereuses, telles que des solvants inflammables et des réactifs toxiques.

Étapes d'Implémentation de SEVESO 3

1. **Évaluation Initiale des Risques**
 - **Analyse des Substances Dangereuses** : Identification des substances dangereuses utilisées et stockées, en vérifiant les seuils de la directive SEVESO 3.
 - **Évaluation des Scénarios d'Accidents** : Analyse des scénarios possibles d'accidents majeurs, comme les fuites de produits chimiques ou les explosions.
2. **Développement du Plan de Prévention**
 - **Mesures de Sécurité** : Mise en place de mesures techniques et organisationnelles pour prévenir les accidents (par exemple, systèmes de détection des fuites, dispositifs de confinement).
 - **Plan de Gestion des Urgences** : Élaboration d'un plan détaillé pour faire face aux situations d'urgence, y compris les procédures d'évacuation et les contacts d'urgence.
3. **Formation et Sensibilisation**
 - **Formation du Personnel** : Formation régulière des employés sur les procédures de sécurité, la gestion des risques, et les interventions d'urgence.
 - **Sensibilisation à la Sécurité** : Organisation de sessions de sensibilisation pour rappeler les bonnes pratiques de sécurité et les procédures d'urgence.
4. **Communication avec le Public et les Autorités**
 - **Information du Public** : Publication d'informations sur les risques potentiels et les mesures de prévention mises en place.
 - **Coordination avec les Autorités** : Collaboration avec les autorités locales pour s'assurer que les plans d'urgence sont alignés avec les exigences réglementaires et les capacités locales de réponse.
5. **Révision et Amélioration Continue**
 - **Révisions Périodiques** : Révision régulière des plans de sécurité et des procédures pour tenir compte des changements dans les opérations ou les risques.
 - **Évaluations Post-Incident** : Analyse des incidents ou presque-incident pour améliorer les pratiques et les mesures de sécurité.

Exemple de Mise en Œuvre :

- **Site de Fabrication** : Une entreprise chimique met en place des équipements de détection avancés pour surveiller les niveaux de produits chimiques et prévenir les fuites. Elle organise des exercices réguliers avec les services d'urgence locaux pour tester la réactivité aux scénarios d'accidents majeurs.
- **Documentation et Communication** : L'entreprise crée un portail en ligne pour les informations publiques sur les risques et les mesures de sécurité, et organise des réunions annuelles avec les autorités locales pour discuter des mises à jour des plans de sécurité.

6 - Nouveautés et Innovations Récentes pour la Directive SEVESO

La Directive SEVESO, en vigueur depuis 2012 sous la forme de la Directive 2012/18/UE, a connu plusieurs évolutions et mises à jour au fil du temps pour renforcer la sécurité industrielle et la gestion des risques. Voici un aperçu des nouveautés et des changements récents dans la directive SEVESO :

1. Révision de la Directive SEVESO (2022/2030)

En 2022, la Commission Européenne a proposé une révision de la Directive SEVESO, qui vise à améliorer la gestion des risques d'accidents majeurs et à renforcer la résilience des installations industrielles face aux risques climatiques et environnementaux.

Principaux Changements Proposés :

- **Intégration des Risques Climatiques** : Prise en compte des impacts du changement climatique dans les évaluations des risques et des plans de prévention. Les installations doivent maintenant évaluer la vulnérabilité aux événements climatiques extrêmes.
- **Renforcement des Exigences de Transparence** : Amélioration des obligations d'information et de consultation du public pour accroître la transparence et l'engagement communautaire dans la gestion des risques.
- **Mise à Jour des Seuils** : Ajustement des seuils de quantité pour certaines substances dangereuses afin de mieux refléter les risques réels et d'aligner les exigences avec les meilleures pratiques internationales.

2. Focus sur la Résilience et la Préparation aux Crises

Les révisions récentes mettent l'accent sur la résilience des installations face aux crises, y compris les incidents non industriels tels que les attaques terroristes ou les catastrophes naturelles.

- **Plans de Continuité des Activités** : Les installations doivent développer des plans de continuité pour assurer le fonctionnement et la sécurité en cas d'incident majeur.
- **Coordination avec les Plans de Gestion des Crises** : Renforcement de la coordination entre les plans d'urgence internes et les plans de gestion des crises régionaux et nationaux.

3. Renforcement de l'Approche Basée sur le Risque

Les nouvelles directives mettent l'accent sur une approche plus flexible et basée sur le risque pour la gestion des installations.

- **Analyse de Risques Dynamique** : Encouragement des évaluations de risques dynamiques qui tiennent compte des changements dans les opérations et des nouvelles informations sur les risques.
- **Approche Basée sur la Performance** : Accent sur la performance des systèmes de sécurité plutôt que sur la conformité aux spécifications rigides.

4. Harmonisation avec les Normes Internationales

Pour améliorer la cohérence avec les normes internationales et faciliter le commerce, des efforts sont faits pour harmoniser les exigences de la Directive SEVESO avec celles d'autres réglementations globales.

- **Alignement avec les Règles de l'ONU et les Normes ISO** : Mise en conformité avec les recommandations internationales sur la gestion des risques et la sécurité industrielle.

5. Renforcement de la Formation et de la Sensibilisation

Les exigences en matière de formation et de sensibilisation sont renforcées pour garantir que le personnel et les gestionnaires soient bien informés des procédures de sécurité et des meilleures pratiques.

- **Formation Régulière** : Obligation de formations régulières pour les employés et les gestionnaires sur les procédures de sécurité et les scénarios d'urgence.
- **Sensibilisation du Public** : Augmentation des initiatives pour sensibiliser le public aux risques et aux mesures de sécurité.

7 - Le Règlement CLP :

1. Introduction au Règlement CLP (Classification, Labelling and Packaging)

Le **Règlement CLP** (Classification, Labelling and Packaging) est un cadre réglementaire de l'Union Européenne pour la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances chimiques et des mélanges. Il est directement inspiré du Système Général Harmonisé (SGH) des Nations Unies, conçu pour promouvoir la sécurité des personnes, de l'environnement et des biens.

2. Objectifs du Règlement CLP

- a. **Assurer la Sécurité des Consommateurs et des Travailleurs** : En fournissant des informations claires et uniformes sur les dangers des produits chimiques, le règlement aide à protéger la santé humaine et l'environnement.
- b. **Faciliter le Commerce International** : L'harmonisation des critères de classification et d'étiquetage avec ceux d'autres pays facilite le commerce et réduit les barrières non tarifaires.
- c. **Promouvoir la Conformité Réglementaire** : En établissant des normes uniformes pour la communication des dangers, le règlement simplifie la gestion des risques pour les entreprises et les autorités.

3. Principaux Aspects du Règlement CLP

- a. **Classification des Substances et Mélanges**
 - **Critères de Classification** : Les substances et mélanges doivent être classifiés en fonction de leur dangerosité. Cette classification est basée sur des critères précis relatifs à la santé, la sécurité, et l'environnement.
 - **Catégories de Danger** : Les produits sont classifiés en différentes catégories telles que les dangers physiques (explosifs, inflammables), les dangers pour la santé (toxiques, irritants) et les dangers environnementaux (toxiques pour les organismes aquatiques).
- b. **Étiquetage**
 - **Pictogrammes de Danger** : Utilisation de pictogrammes normalisés pour indiquer les dangers. Par exemple, le pictogramme en forme de flamme indique des substances inflammables.
 - **Mentions de Danger** : Des phrases standardisées (H-phrases) décrivant la nature et la gravité des dangers doivent figurer sur l'étiquette.
 - **Conseils de Précaution** : Des phrases (P-phrases) fournissant des recommandations sur la manière de prévenir ou de minimiser les effets indésirables doivent également être incluses.
- c. **Emballage**
 - **Exigences d'Emballage** : Les emballages doivent être conçus pour éviter les fuites et les déversements et doivent être correctement étiquetés conformément aux exigences du CLP.
 - **Consignes de Sécurité** : L'emballage doit inclure des consignes de sécurité et des informations sur le stockage et la manipulation des substances.
- d. **Fiches de Données de Sécurité (FDS)**
 - **Contenu des FDS** : Les FDS fournissent des informations détaillées sur les dangers, les mesures de sécurité, et les procédures en cas d'urgence. Elles doivent être mises à jour en cas de changement significatif concernant le produit.
- e. **Application**
 - **Responsabilités des Entreprises** : Les fabricants, importateurs et fournisseurs de produits chimiques sont responsables de la classification correcte, de l'étiquetage et de l'emballage des produits. Ils doivent également fournir des FDS à leurs clients.

- **Surveillance et Contrôle** : Les autorités compétentes surveillent la conformité avec le règlement et peuvent imposer des sanctions en cas de non-conformité.

2° Le PPRT issu de la loi « risque » de 2003 dite loi Bachelot

La **loi Bachelot** (loi n°2003-699 du 30 juillet 2003) est un texte clé en France dans la gestion des risques technologiques. Elle fait suite à la catastrophe de l'usine AZF à Toulouse en 2001, et vise à renforcer la prévention des risques industriels. Cette loi a notamment introduit les **Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT)**, qui ont pour objectif de protéger les populations vivant à proximité d'installations à haut risque, telles que les sites classés **SEVESO**.

Objectifs et Principes du PPRT

Le PPRT a trois grands objectifs :

Réduire les risques à la source : Imposer des mesures de sécurité pour les sites industriels eux-mêmes (renforcement des équipements, réduction des substances dangereuses, etc.).

Maîtriser l'urbanisation autour des sites : Limiter ou interdire les constructions nouvelles dans les zones les plus exposées.

Protéger les populations existantes : Mettre en place des mesures de protection pour les bâtiments et, si nécessaire, prévoir des procédures d'expropriation ou de relogement.

Élaboration d'un PPRT

Le PPRT est élaboré par les préfets en collaboration avec les acteurs locaux (collectivités territoriales, exploitants industriels, riverains, etc.). Le processus suit plusieurs étapes :

Évaluation des risques : Analyse des scénarios d'accidents potentiels et de leur impact.

Délimitation des zones : Les zones sont définies en fonction de l'intensité des risques :

Zone de délaissement : Les bâtiments existants peuvent être rachetés par les autorités pour réduire la densité de population dans cette zone.

Zone d'expropriation : Les bâtiments sont expropriés si le risque est trop élevé.

Zone de prescription : Des travaux de renforcement sont imposés pour les bâtiments et équipements dans les zones à risque modéré.

Consultation publique : Les citoyens sont invités à donner leur avis lors d'une enquête publique.

Mise en œuvre : Le PPRT devient opposable aux tiers et intègre les documents d'urbanisme locaux.

Mesures pour les Habitants et Acteurs Locaux

Les PPRT peuvent imposer plusieurs types de mesures pour protéger les personnes vivant autour des sites industriels :

Aménagements de sécurité : Travaux de renforcement des bâtiments (renforcement des fenêtres, murs, etc.).

Restrictions d'usage : Limitation des activités et constructions dans certaines zones.

Aides financières : Les habitants et collectivités peuvent bénéficier d'aides pour réaliser les travaux de protection nécessaires.

Exemple d'application du PPRT

Un exemple emblématique est celui de Lyon, où des PPRT ont été établis pour les sites SEVESO situés dans le bassin chimique de la vallée de la Chimie. Ces plans ont permis de restreindre les constructions dans certaines zones et d'organiser des opérations de sécurisation pour protéger les riverains.

En somme, le PPRT est une composante cruciale de la politique française de gestion des risques industriels, cherchant à concilier le développement économique avec la sécurité des populations et la préservation de l'environnement.

A - Dispositions applicables en zone de maîtrise de l'urbanisation future

Les **zones de maîtrise de l'urbanisation future** sont des zones autour des sites industriels à risque où les nouvelles constructions et les aménagements sont strictement encadrés pour limiter l'exposition des populations aux dangers liés aux activités industrielles.

Principales dispositions :

1. **Restriction des nouvelles constructions** : Le **PPRT** impose des limitations strictes sur les projets d'urbanisation dans ces zones. Il est souvent **interdit de construire** de nouvelles habitations, bâtiments publics (écoles, hôpitaux) ou établissements recevant du public dans ces zones.
2. **Adaptation des projets** : Lorsque certaines constructions sont autorisées (ex. : extensions de bâtiments existants), des **mesures de protection** doivent être prises. Ces mesures incluent des **renforcements structurels** (pour résister à une explosion ou à des ondes de choc), des **systèmes de ventilation adaptés**,

et des règles spécifiques pour réduire la vulnérabilité des constructions face aux risques industriels.

3. **Maintien des activités économiques** : Certaines activités économiques peuvent être maintenues sous réserve de l'application de **mesures de prévention** (par exemple, implantation de barrières, zones de confinement). Cependant, les extensions significatives des entreprises ou l'implantation de nouvelles activités peuvent être limitées ou interdites.
4. **Information des nouveaux arrivants** : En cas de construction autorisée, les **nouveaux habitants** ou occupants doivent être informés des risques présents dans la zone. Cette information est souvent inscrite dans les actes de vente ou de location immobilière.

Exemple : Dans une commune proche d'un site SEVESO, toute nouvelle construction résidentielle dans la zone de maîtrise pourrait être interdite, et les nouvelles activités économiques devront respecter des critères stricts pour minimiser les risques.

B - Dispositions applicables en secteur de mesures foncières

Les **secteurs de mesures foncières** sont des zones autour des sites industriels où les risques pour les habitants existants sont jugés particulièrement élevés. Dans ces zones, des **mesures foncières** peuvent être mises en place pour limiter l'exposition des populations existantes. Ces mesures incluent principalement des **expropriations** ou des **délaissements**.

Principales dispositions :

1. **Expropriation** : Dans les zones où les risques sont jugés trop élevés pour permettre le maintien de la population, l'État peut engager des **procédures d'expropriation** pour racheter les biens immobiliers et permettre le **départ des habitants**. Les zones concernées sont souvent proches des sites industriels, avec un risque significatif en cas d'accident majeur (explosion, fuite toxique).
2. **Droit de délaissement** : Les propriétaires de biens immobiliers situés dans les secteurs à haut risque peuvent demander à la collectivité de racheter leur propriété. Ce **droit de délaissement** permet aux habitants de quitter volontairement la zone tout en obtenant une indemnisation basée sur la valeur vénale du bien.
3. **Aides à la reconversion** : Pour les entreprises ou les commerces situés dans les secteurs de mesures foncières, des **aides à la reconversion** ou au déplacement peuvent être proposées afin de faciliter leur relocalisation hors des zones à risque.
4. **Obligation de travaux** : Pour les habitations qui ne font pas l'objet d'un délaissement ou d'une expropriation, le PPRT peut imposer des **travaux obligatoires de renforcement** pour améliorer la sécurité des bâtiments existants. Ces travaux visent à limiter les conséquences en cas d'accident (ex. : renforcement des vitrages pour éviter les blessures par éclats en cas d'explosion).
5. **Compensation financière** : Les propriétaires et entreprises impactés par ces mesures foncières peuvent bénéficier de **compensations financières** pour la perte de valeur de leurs biens ou les coûts engendrés par les travaux de sécurisation.

Exemple : Une usine chimique SEVESO seuil haut est située à proximité d'une zone résidentielle. En secteur de mesures foncières, l'État pourrait exproprier certains habitants en raison du risque élevé d'explosion. Les autres propriétaires auront le droit de demander un rachat de leur maison ou devront réaliser des travaux pour renforcer la résistance de leur habitation face aux accidents industriels.

3° POI / PPI / ETARE.

A - Le plan d'opération interne (POI)

Le **Plan d'Opération Interne (POI)** est un plan de gestion des risques mis en place par les entreprises ou installations classées pour protéger leur personnel et limiter les impacts d'un accident technologique sur leur propre site.

Principales caractéristiques :

1. **Objectif** : Organiser les **premières réponses internes** en cas d'accident sur le site industriel (fuite de gaz, incendie, explosion, etc.) avant l'intervention des secours externes. Le POI vise à limiter la propagation du sinistre, à protéger les salariés, et à alerter rapidement les secours externes.
2. **Obligation légale** : Il est obligatoire pour les sites classés **SEVESO seuil haut**, ainsi que pour certains sites industriels à risques.
3. **Contenu du POI** :
 - **Identification des risques** : Le POI recense les principaux scénarios d'accident susceptibles de se produire sur le site.
 - **Procédures d'alerte** : Il décrit les modalités pour alerter les équipes internes et les secours en cas d'accident.
 - **Moyens d'intervention** : Il précise les moyens techniques disponibles sur le site pour limiter les dégâts (extincteurs, systèmes d'alarme, etc.) et les équipes formées à la gestion d'urgence.
 - **Évacuation du personnel** : Le POI intègre les procédures d'évacuation des employés et de mise en sécurité en cas de danger.
4. **Exercice de simulation** : Les entreprises sont tenues de **tester** régulièrement leur POI à travers des exercices de simulation pour s'assurer de l'efficacité des mesures d'urgence.

B - Le Plan Particulier d'Intervention (PPI)

Le **Plan Particulier d'Intervention (PPI)** est un plan de gestion de crise mis en place par les **autorités publiques** (préfecture) pour gérer les conséquences d'un accident industriel majeur pouvant affecter la population et l'environnement en dehors du site industriel.

Principales caractéristiques :

1. **Objectif** : Le PPI vise à **protéger les populations** et les biens situés dans les zones proches d'un site industriel en cas d'accident grave. Il permet de coordonner l'intervention des différents services de secours, les forces de l'ordre, et les autorités locales.
2. **Champ d'application** : Le PPI est obligatoire pour les sites classés **SEVESO seuil haut**. Il est activé lorsque l'accident dépasse les capacités d'intervention de l'entreprise et affecte les zones environnantes.
3. **Contenu du PPI** :
 - **Zonage des risques** : Le PPI délimite les zones à risques autour de l'installation (zones d'évacuation, de confinement, etc.).
 - **Moyens d'alerte** : Il décrit les moyens pour alerter la population (sirènes, messages d'alerte, réseaux sociaux, etc.).
 - **Mise en place de mesures d'urgence** : Le plan prévoit des mesures comme l'**évacuation**, le **confinement** des populations, ou l'installation de périmètres de sécurité.
 - **Coordination des secours** : Le PPI définit les rôles et responsabilités des différents acteurs (pompiers, gendarmes, autorités sanitaires) pour assurer une réponse rapide et coordonnée.
4. **Exercices de simulation** : Les préfetures doivent organiser régulièrement des exercices avec les sites industriels pour tester et améliorer l'efficacité du PPI.

Exemple : Lors d'une explosion dans une usine chimique classée SEVESO, le PPI peut être activé pour confiner les habitants d'une zone résidentielle proche, organiser l'évacuation des zones les plus exposées et mobiliser les pompiers pour éteindre l'incendie.

C - Le Plan d'Établissement Répertoire (ETARE)

Le **Plan d'Établissement Répertoire (ETARE)** est un document utilisé par les **services de secours** (sapeurs-pompiers) pour préparer et organiser leurs interventions en cas d'incident ou d'accident dans des établissements considérés comme présentant un risque important (industriel, hospitalier, ou logistique).

Principales caractéristiques :

1. **Objectif** : L'objectif de l'ETARE est de permettre aux **secours** d'intervenir efficacement en connaissant **à l'avance** les caractéristiques de l'établissement, ses vulnérabilités, et ses risques spécifiques.
2. **Champ d'application** : Les ETARE sont réalisés pour les **établissements à risques** (sites SEVESO, hôpitaux, grandes infrastructures logistiques, etc.). Ils permettent de préparer les secours à faire face à des accidents qui pourraient nécessiter des moyens d'intervention spécifiques (substances dangereuses, incendies de grande ampleur, etc.).
3. **Contenu de l'ETARE** :
 - **Description des installations** : L'ETARE contient une description détaillée des bâtiments, des infrastructures critiques (zones de stockage de produits dangereux, chambres froides, etc.), et des accès pour les secours.
 - **Moyens de lutte disponibles** : Le plan recense les équipements de sécurité sur site (bouches à incendie, systèmes d'extinction, alarmes).
 - **Plan d'intervention** : Il inclut des consignes précises pour l'évacuation, la mise en sécurité des employés, et la coordination des secours avec le personnel du site.
 - **Plans des lieux** : Des plans détaillés de l'établissement sont fournis pour faciliter la circulation des secours et l'identification des points critiques.
4. **Mise à jour régulière** : Les ETARE sont régulièrement **mis à jour** pour tenir compte des modifications des infrastructures ou des équipements sur site.

Exemple : Un centre logistique stockant des produits chimiques peut disposer d'un ETARE qui contient des informations sur les substances dangereuses entreposées, les systèmes de lutte contre les incendies présents sur place, et les itinéraires d'accès pour les camions de pompiers.

4° La réglementation TMD

La **réglementation TMD** encadre le transport des matières dangereuses afin de garantir la sécurité des personnes, des biens, et de l'environnement. Cette réglementation s'applique à tous les modes de transport : routier, ferroviaire, maritime, aérien, et fluvial, et impose des règles strictes en termes de signalisation, d'étiquetage, de conditionnement, et de documents à bord.

A - Principe de la réglementation

La réglementation TMD vise à encadrer le **transport des matières dangereuses** pour éviter les accidents, les fuites, ou les explosions pendant les opérations de transport.

Elle s'applique à toutes les substances susceptibles de causer des dommages (produits chimiques, explosifs, gaz, produits inflammables, etc.). Cette réglementation impose des **mesures de prévention** à chaque étape du transport, depuis l'emballage et l'étiquetage jusqu'à la livraison finale.

Principaux objectifs :

1. **Prévenir les risques** pour la sécurité publique.
2. **Protéger l'environnement** en cas d'accident.
3. **Faciliter l'intervention des secours** en cas d'incident.
4. **Informers clairement les transporteurs et les autorités** sur la nature des produits transportés.

Exigences de la Réglementation :

1. **Classification** : Identification des matières dangereuses selon les classes et les catégories de danger.
2. **Étiquetage** : Étiquettes de danger spécifiques avec des pictogrammes normalisés.
3. **Emballage** : Utilisation d'emballages appropriés et conformes aux normes.
4. **Documentation** : Fourniture de documents de transport tels que le document de transport TMD, les fiches de données de sécurité (FDS), et les déclarations spéciales si nécessaire.
5. **Formation** : Formation des personnels concernés pour assurer le respect des règles de sécurité.

B-Catégories de Matières Dangereuses

Classe 1 : Explosifs

Classe 2 : Gaz (inflammables, toxiques, asphyxiants)

Classe 3 : Liquides inflammables

Classe 4 : Solides inflammables (y compris les substances auto-réactives)

Classe 5 : Matières comburantes et peroxydes organiques

Classe 6 : Substances toxiques et infectieuses

Classe 7 : Radioactives

Classe 8 : Substances corrosives

Classe 9 : Divers (y compris les matières et objets dangereux)

C- Signalisation et étiquetage des véhicules

La signalisation et l'étiquetage des véhicules transportant des matières dangereuses sont essentiels pour assurer la sécurité des transports, faciliter l'intervention en cas d'accident et informer correctement les différents acteurs impliqués dans le transport. Voici un aperçu des éléments clés à considérer :

1. Les Panneaux Orange

1.a Signification :

- **Panneaux Orange** : Utilisés pour indiquer le transport de matières dangereuses. Ils sont placés à l'avant et à l'arrière des véhicules transportant des matières dangereuses.
- **Numéro de Risque** : Chaque panneau orange affiche un numéro à quatre chiffres (placé dans un losange noir) qui représente le numéro UN (Numéro des Nations Unies) de la matière dangereuse transportée. Par exemple, le numéro UN 1203 correspond à l'essence.

1.b Usage :

- **Identification Rapide** : Permet aux services d'urgence d'identifier rapidement le type de danger associé au véhicule, ce qui est crucial pour la gestion des interventions en cas d'incident.
- **Conformité Légale** : Assure que le transport de matières dangereuses respecte les normes internationales.

1.c Illustration :

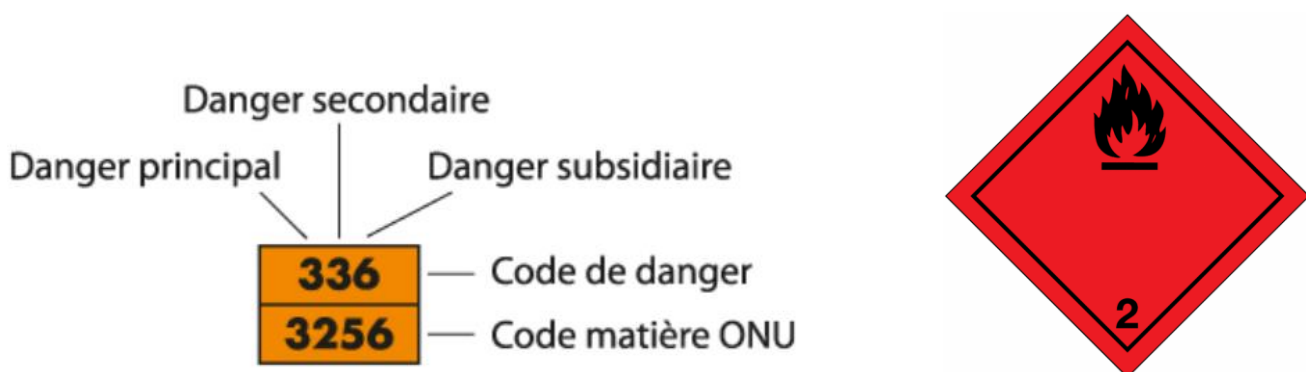


Figure 2 : exemple d'étiquetage pour le transport routier

2. Les Étiquettes de Danger

a. Explication des Différentes Étiquettes de Danger :

- **Classification des Étiquettes** : Les étiquettes de danger sont des symboles et des codes de couleur qui indiquent la nature du danger associé à la matière transportée. Elles sont généralement placées sur les emballages ou les conteneurs.

- **Exemples d'Étiquettes :**
 - **Flamme :** Indique une substance inflammable.
 - **Cercle avec une Croix :** Signifie une matière comburante.
 - **Skull and Crossbones :** Désigne une substance toxique ou mortelle.

b. Utilisation :

- **Identification des Risques :** Les étiquettes permettent de comprendre rapidement les risques associés à la matière dangereuse, facilitant ainsi la gestion des risques et des situations d'urgence.
- **Conformité :** Garantit que les exigences de signalisation sont respectées, conformément aux réglementations internationales.

Illustration :

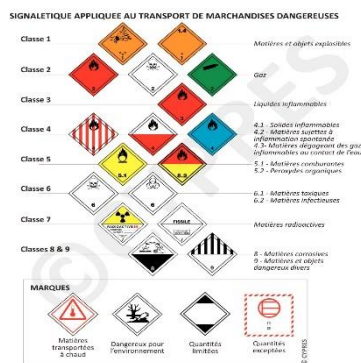


Figure : signalétique appliquée au transport de marchandises dangereuses

3- La signalisation des transports ferroviaires

Les wagons transportant des matières dangereuses doivent être **signalés de manière similaire** aux véhicules routiers, avec des panneaux orange indiquant le code danger et le code ONU de la matière transportée. En cas de déraillement, ces informations permettent aux secours d'agir rapidement et de choisir les procédures adéquates.

4 - L'étiquetage des colis

Les **colis** transportant des matières dangereuses doivent également être étiquetés pour indiquer le type de danger qu'ils représentent. Ces étiquettes sont similaires aux pictogrammes utilisés sur les véhicules et doivent être apposées de manière visible.

- **Exemple :** Un colis contenant des produits chimiques toxiques portera une étiquette avec un pictogramme représentant un crâne et des os croisés pour signaler la toxicité.

5 - Signalisation des bouteilles de gaz

1. L'Étiquette

Exigences d'Étiquetage pour les Bouteilles de Gaz

L'étiquetage des bouteilles de gaz est crucial pour garantir la sécurité pendant leur stockage, transport et utilisation. Voici les principales exigences :

- **Pictogrammes de Danger :**
 - **Type de Danger :** Les bouteilles doivent être étiquetées avec des pictogrammes de danger pour indiquer le type de gaz (inflammable, toxique, corrosif, etc.). Par exemple, un pictogramme de flamme pour les gaz inflammables.
- **Exemple :**
- **Nom du Gaz :**
 - Le nom du gaz doit être clairement indiqué sur l'étiquette. Par exemple, "Hydrogène" ou "Oxygène".
- **Numéro ONU :**
 - Le numéro de l'ONU (Organisation des Nations Unies) pour identifier le gaz. Par exemple, le numéro ONU 1046 pour l'oxygène.
- **Instructions de Sécurité :**
 - Les précautions à prendre en cas de fuite ou de déversement doivent être spécifiées, comme "Manipuler avec soin" ou "Éviter les sources d'ignition".
- **Informations Complémentaires :**
 - **Pression :** La pression à laquelle le gaz est stocké.
 - **Poids Net :** Le poids du contenu de la bouteille.
- **Étiquettes de Sécurité :**
 - Des étiquettes supplémentaires peuvent être nécessaires pour les bouteilles de gaz contenant des substances particulièrement dangereuses.

Illustration : étiquetage des bouteilles de gaz



Figure 3 : exemple de bouteilles de gaz étiquetées

2. Le Code Couleur des Bouteilles de Gaz

Discussion sur le Code Couleur International des Bouteilles de Gaz

Le code couleur international permet d'identifier rapidement le contenu des bouteilles de gaz et d'éviter les erreurs dangereuses. Les couleurs sont normalisées pour différents types de gaz :

- **Gaz Inflammables** : Généralement, les bouteilles contenant des gaz inflammables sont codées en rouge.
- **Gaz Comprimés** : Les gaz comprimés comme l'azote sont souvent marqués en bleu.
- **Gaz Toxiques** : Les bouteilles de gaz toxiques sont typiquement identifiées par des couleurs vertes ou jaunes.
- **Gaz Corrosifs** : Les gaz corrosifs sont identifiés par des couleurs comme le jaune.

Tableau 1: couleurs standards des bouteilles de gaz

Type de Gaz	Couleur de la Bouteille
Gaz Inflammables	Rouge
Gaz Comprimés	Bleu
Gaz Toxiques	Vert / Jaune
Gaz Corrosifs	Jaune / Autre

E. Les Documents de Transport à Bord des Véhicules

Les documents de transport jouent un rôle crucial dans la sécurité et la conformité lorsqu'il s'agit de transporter des matières dangereuses. Voici une liste complète des documents requis, accompagnée de leurs explications.

Document de Transport de Matières Dangereuses (DTD)

Description : Document principal utilisé pour transporter des matières dangereuses. Il fournit des informations essentielles sur le contenu du transport et les précautions nécessaires.

Contenu :

- **Nom du produit :** Dénomination de la matière dangereuse.
- **Numéro ONU :** Identifiant unique attribué à la matière dangereuse (ex. : ONU 1203 pour l'essence).
- **Classe de danger :** Classification de la matière selon le type de danger (ex. : 3 pour les liquides inflammables).
- **Quantité :** Volume ou poids de la matière dangereuse transportée.
- **Nom et adresse de l'expéditeur et du destinataire.**
- **Numéro d'urgence :** Contacts à appeler en cas d'accident.

E - Les documents de transport à bord des véhicules de transport

1. Les transports routiers

Les véhicules transportant des matières dangereuses doivent avoir à bord une **fiche de transport** qui décrit les matières transportées, leur nature, et les mesures de sécurité à appliquer. Ces documents doivent être accessibles aux autorités de contrôle et aux services de secours en cas d'accident.

- **Informations requises :** Nom des produits, numéro ONU, classe de danger, quantités transportées, et équipements de sécurité à bord.

2. Les transports par voies ferrées

Les trains transportant des matières dangereuses doivent également disposer de documents détaillant les marchandises transportées et leur nature dangereuse. Ces documents sont transmis aux autorités ferroviaires pour permettre un suivi sécurisé du transport.

F - Aide à l'intervention : le guide du pompier genevois

Le **guide du pompier genevois** est un **document de référence** utilisé par les sapeurs-pompiers pour intervenir en toute sécurité lors d'accidents impliquant des matières dangereuses. Ce guide recense les principaux types de dangers (toxiques, corrosifs, explosifs) et propose des **protocoles d'intervention** en fonction des risques identifiés.

Contenu :

1. **Descriptions des matières dangereuses** : Le guide fournit des informations sur les différentes classes de matières dangereuses et les précautions à prendre.
2. **Procédures d'intervention** : Il propose des **protocoles spécifiques** pour chaque type d'incident, incluant les techniques de confinement, d'extinction, ou de décontamination.
3. **Conseils sur les équipements de protection** : Le guide détaille les équipements de protection individuelle à utiliser en fonction des produits dangereux impliqués.

Exemple : En cas de fuite de gaz inflammable, le guide du pompier genevois propose des méthodes de confinement et de ventilation pour éviter une explosion.

