

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

Maitrise des Risques

TD 6 : Révisions médian

UV TS01

Resp : christophe.proust@utc.fr

donnons un sens à l'innovation



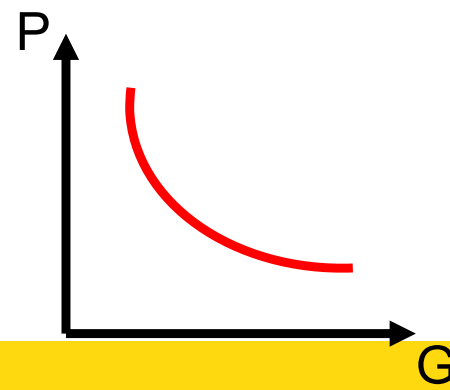
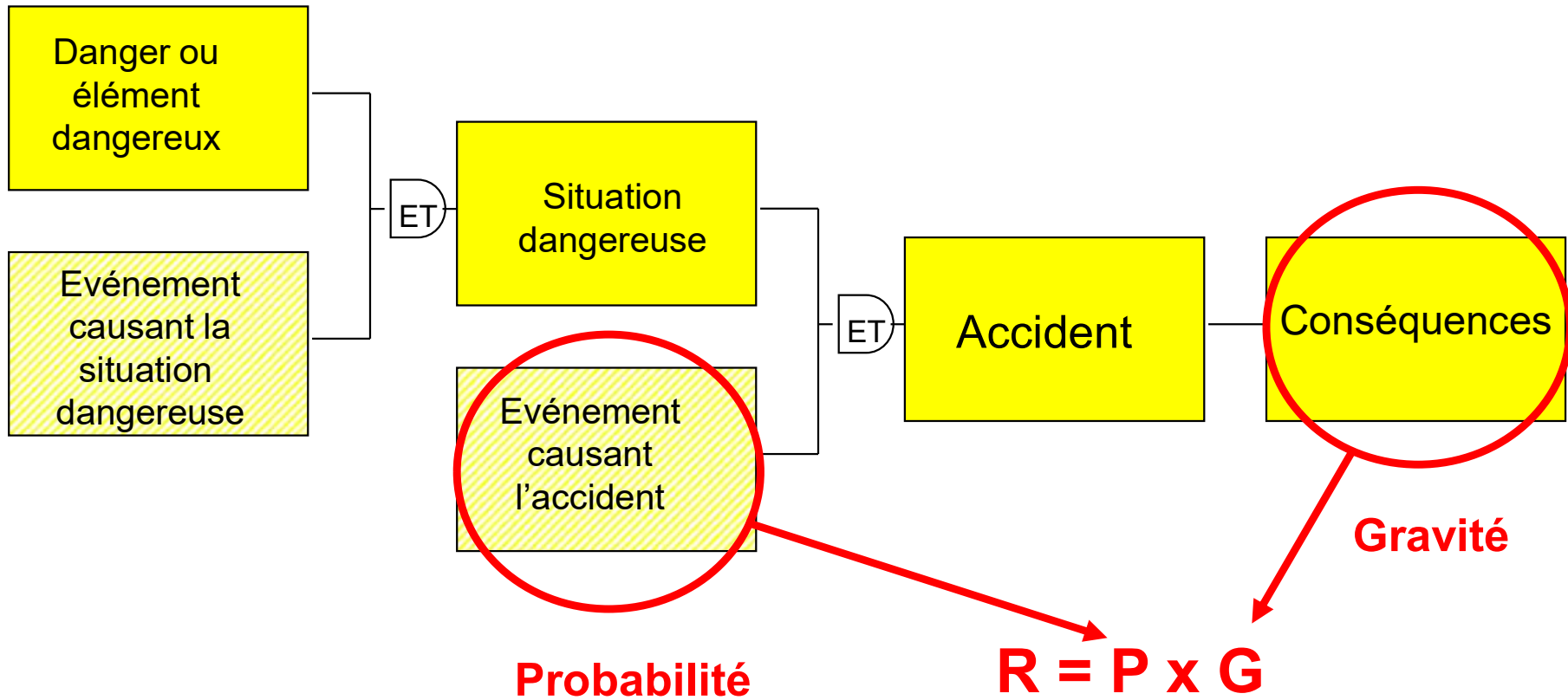
Points d'attention

- Les risques...
- L'analyse des accidents (AdC)
- L'APR



Les Risques...

Vos questions résiduelles



Un moyen de substitution « universel »

Gravité \ Probabilité	Mineure	Significative	Critique	Catastrophique
Fréquent ou Peu fréquent	C2	C3	C3	C3
Rare	C1	C2	C3	C3
Extrêmement rare	C1	C1	C2	C3
Extrêmement improbable	C1	C1	C1	C2

La « Grille de Criticité »

C1 : acceptable en l'état => aucune action nécessaire
C2 : acceptable sous contrôle
C3 : inacceptable => empêcher les scénarios

Une démarche progressive

- Un risque c'est
- J'analyse un accident pour en extraire des enseignements (constitution d'un REX,...)=>AdC
- Pour un contexte donné, j'identifie les risques => carto
- Pour des risques donnés, je définis le thermomètre => identification (REX, grille)
- Pour une catégorie de risques (prof, majeur), je cherche les causes et combinaisons de causes => APR
-



Analyse d'accident

Arbres des causes

3 explosions de bouteilles de gaz chez Air Liquide Mitry-Mory

- Bancs tests d'étanchéité à l'azote (à 30 et 250 bar) + eau savonneuse
- Erreur de branchement
- 1^{ère} explosion (9h35)
- Evacuation du personnel
- Salarié seul, en formation et non habilité
- Reprise de l'activité (10h50)
- Enquête du BEA-RI



Enquête



TRIPLE DEFLAGRATION A L'AEB DU SITE INDUSTRIEL ALFI DE MITRY-MORY du 25/03/2022

Enquête des élus CGT de la CSSCT et du CSE ALFI IM IDF NORD

25 mars 2022



■ Configuration du poste

La rampe sur laquelle s'est produit l'accident sert à tester l'étanchéité des bouteilles après montage des robinets. Le poste est constitué de deux rampes distinctes :

- Une rampe basse pression azote 30 bars pour les bouteilles acier tôlees.
- Une rampe haute pression azote 250 bars pour les bouteilles alu et acier.

Le test est effectué en aspergeant un liquide savonneux sur le collet de la bouteille sous pression.

■ Relevé des faits

L'opérateur qui travaillait seul sur le poste n'était pas informé qu'il y avait une rampe basse pression dédiée aux bouteilles tôlees. Selon ses propos, la formation sur le poste a duré deux jours.

- L'opérateur a connecté quatre S14 tôlees, une S05 et une S10 aluminium sur la rampe haute pression, puis a ouvert la vanne d'azote partiellement pour mettre en pression les bouteilles.
- Pendant la montée en pression de la rampe, l'opérateur a rapporté deux bouteilles sur le poste montage parce que les robinets montés ne correspondaient pas à l'ordre de fabrication.
- La 1^{ère} explosion qui s'est produite à 9:20 a déclenché le POI et le confinement du personnel.
- La 2^{ème} explosion s'est produite quelques secondes plus tard, lorsque le personnel de l'AEB évacuait le service pour se rendre dans la zone de confinement.
- La 3^{ème} explosion s'est également produite quelques secondes plus tard.
- L'ensemble du personnel a été confiné jusqu'à 9h45.
- La police et les pompiers du SDIS accompagnés d'un infirmier sont arrivés sur le site de Mitry-Mory peu de temps après.

Liste des faits

- Test d'étanchéité par mise sous pression
- L'opérateur est seul
- L'opérateur non habilité
- Ignorait l'existence d'une rampe BP
- Formation au poste courte
- Branche les bouteilles tôlees sur la rampe HP
- Ouverture de la rampe HP
- S'absente pendant Pressurisation
- Ramène des bouteilles non conformes
- Éclatement de la 1^{er} bouteille
- Déclenchement du POI
- Évacuation et confinement du personnel
- Éclatement d'une seconde bouteille (différé)
- Éclatement d'une 3eme bouteille (différé aussi)
- Arrivée des secours
- Déconfinement

Fait ultime ?

Pour un arbre des causes, le ou les faits ultimes sont en fait les accidents. Des blessés, une pollution par exemple. Ils résultent de la conséquence d'une chaîne causale. Au-delà de l'accident, des actions peuvent avoir lieu, dans le temps, qui résultent de l'accident, comme l'enquête par exemple. Mais l'enquête sert à élucider les circonstances et les causes de l'accident rien de plus. Dans ce cas précis, il n'y a pas de victime mais on va montrer sur la base des dégâts que l'opérateur a eu beaucoup de chance. S'il avait été présent, il aurait été gravement blessé. Dans ces conditions l'accident est ce qui aurait pu se passer suite à l'explosion des bouteilles. Et on peut considérer que le fait ultime est **l'éclatement des 3 bouteilles.**

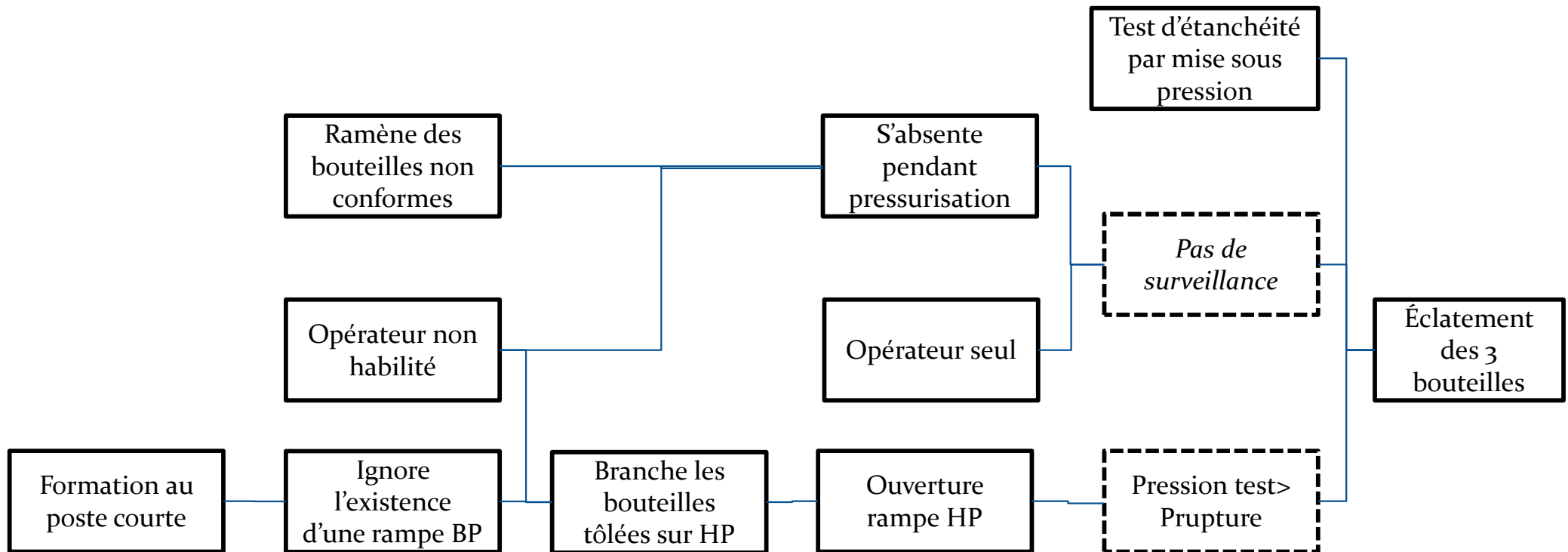
On dit bien l'éclatement des 3 bouteilles et non pas uniquement de la première. Si on avait choisi uniquement la première explosion cela aurait signifié que cette première explosion était responsable des 2 suivantes. En pratique ce n'est pas possible car il est précisé que le délai entre les éclatements était de quelques secondes ce qui rend impossible un effet domino sous l'effet de l'onde de pression ou d'un projectile compte tenu de la vitesse de ces phénomènes de plusieurs centaines de mètres par 2^{nde} les éclatements auraient été simultanés.

Fait ultime ?

Mais il est vrai que la cause de chacun des éclatements est la même. C'est l'effet de l'augmentation de la pression jusqu'au point de rupture. La première bouteille était peut-être légèrement plus fragile que la 2nde et que la 3^e. Si la 4^e n'a pas éclaté c'est sans doute par chance, parce que l'éclatement d'une des autres bouteilles, la 3^e sans doute, a endommagé la rampe basse pression et a provoqué une fuite m'empêchant de ce fait la pressurisation de la 4^e bouteille jusqu'à son point de rupture.

Un dernier aspect mérite d'être précisé. Traditionnellement, on teste les bouteilles à une pression légèrement supérieure à leur pression d'utilisation dite de service. Cette pression de test est la pression d'épreuve, elle correspond approximativement au seuil de plasticité du métal. On peut estimer que la pression de rupture correspond à 2 fois la pression d'épreuve. Il est précisé que les bouteilles tôlees sont testés à 30 bars c'est à dire à leur pression d'épreuve. Leur pression de rupture et donc probablement voisine de 60 bars.

Arbre des causes

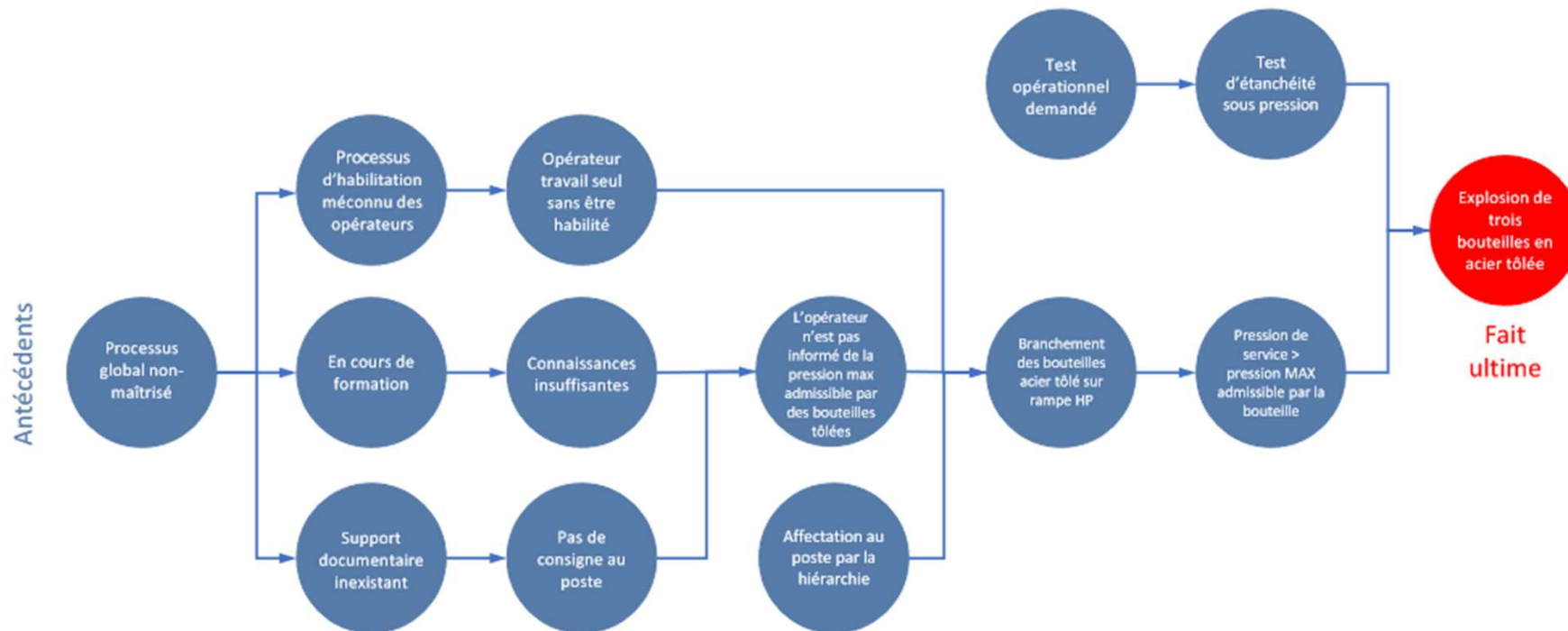


Commentaires

Pendant la formation au poste de travail, on va apprendre à l'opérateur comment il doit disposer l'eau savonneuse, d'où est-ce qu'il doit déclencher la pressurisation, comment il doit observer les bouteilles etc, etc. L'habilitation est une formation plus approfondie à l'environnement dangereux que constitue l'usage de la de la haute pression de gaz. On y apprend à reconnaître les canalisations, les robinets, les flexibles et même à estimer visuellement la résistance possible d'un réservoir.

Ainsi un personnel habilité aurait probablement repéré que la rampe qu'on lui avait présentée était destinée à la haute pression et se serait également rendu compte que les bouteilles tôlées ne supporteraient jamais la haute pression. Par ailleurs sachant le risque, il ne se serait pas absenté pendant la mise sous pression. Cela dit avec une formation correctement dispensée, l'opérateur aurait su repérer, et peut-être lui aurait-on montré également comment utiliser, les rampes hautes et basse pression. On lui aura également signifier clairement la résistance des bouteilles tôlées et des bouteilles moulées.

Enquête : Arbre des causes



Commentaires

Il me semble que l'arbre des causes proposées par la CGT n'est pas tout à fait complet ni honnête. Il y apparaît notamment des éléments organisationnels par exemple qui ne figurent pas dans la liste des faits. C'est une interprétation. Par ailleurs, le fait que l'opérateur se soit absenté pendant la mise sous pression est passé sous silence, témoignant d'une volonté de le protéger alors que son attitude a été un peu légère.

On rappelle qu'il est très important que l'arbre des causes reste très factuel de manière à ce qu'il puisse être partagé et conduisent à prendre des décisions à l'avantage de tous .



Calculs de conséquences

explosions

Objectifs

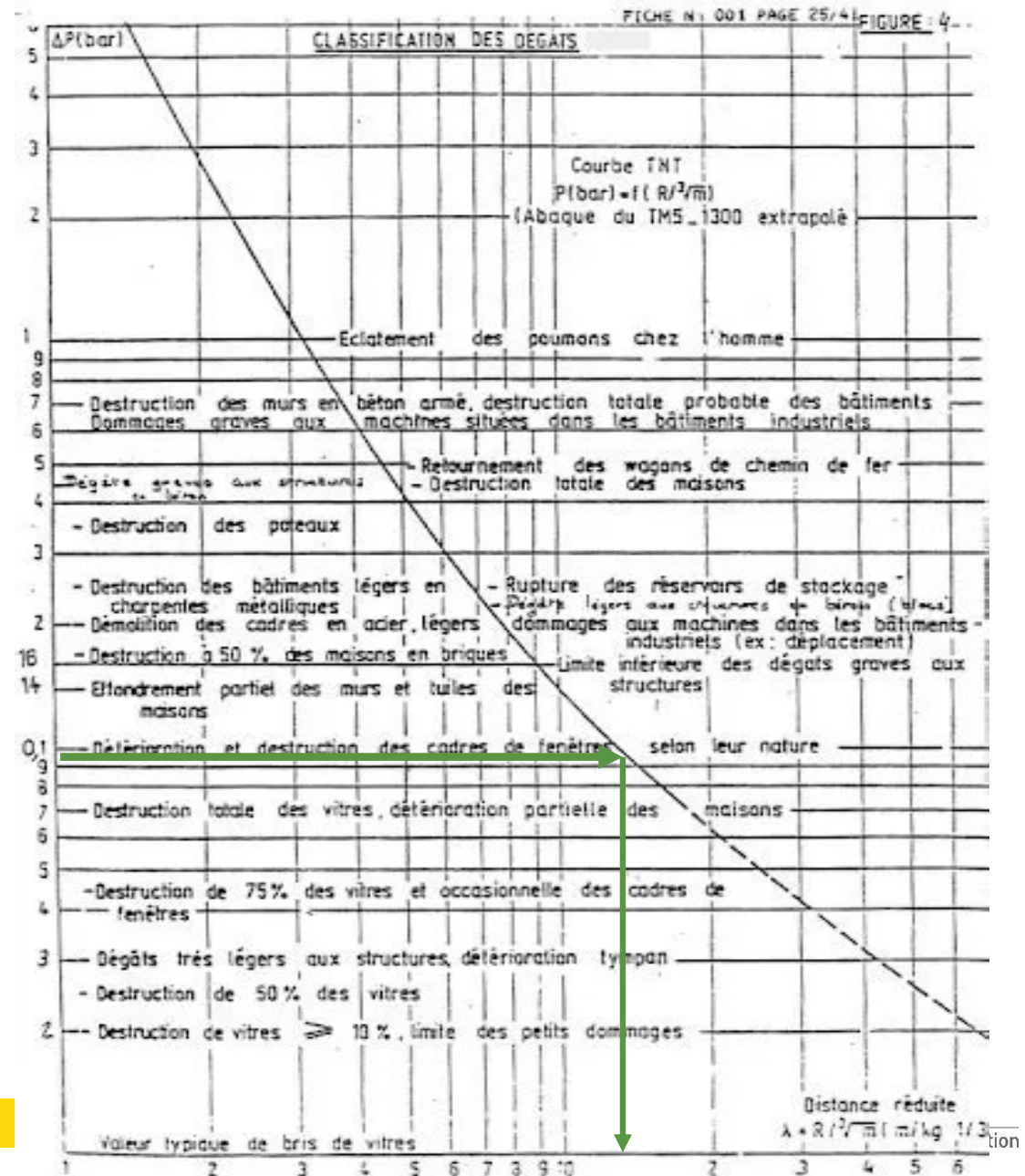
Souvent en parallèle de la recherche de l'arborescence des causes elle complète une analyse d'accident par des calculs d'effets. L'objectif est de s'assurer que l'on maîtrise bien la cause de l'accident à partir des relevés des dégâts. C'est une partie importante de l'enquête. Dans le cas précis, on va calculer les effets produits par l'éclatement de l'une des bouteilles tôlees et les confronter aux dégâts observés pour s'assurer que notre calcul est réaliste. Puis après s'être assuré de cette cohérence, on disposera d'un moyen d'estimer par exemple les distances d'effet qui permettent de protéger au mieux les biens et les personnes.

On rappelle que les effets d'un éclatement de réservoir sont comparables à ceux de la détonation d'un explosif comme le TNT. Traditionnellement, on rapporte l'énergie de pression de l'éclatement à une certaine quantité de TNT qui produirait la même énergie. Cela permet d'utiliser le graphe universel des explosifs qui représente l'atténuation du niveau de pression depuis l'épicentre de l'explosion en fonction de la distance. On a montré il y a longtemps que toutes les courbes d'atténuation pour toutes les charges pouvait être représenté sur un seul graphe où on substitue la distance réelle par un paramètre composite associant cette distance réelle et la racine cubique de la charge d'explosif. C'est la distance réduite.

Les éclatements de capacités

- Causes :
 - affaiblissement mécanique (corrosion, chocs, incendie)
 - surpression
 - explosion internes
- => libération de l'énergie de pression (« Brode ») et application de l'abaque TNT.
- $W_{TNT} = 4\ 600\ 000\ \text{J/kg}$

$$M_{eqTNT} = \frac{P_{rupture} \cdot V_{capacité}}{W_{TNT}}$$



Utilisation

On rappelle que les effets d'un éclatement de réservoir sont comparables à ceux de la détonation d'un explosif comme le TNT. Traditionnellement, on rapporte l'énergie de pression de l'éclatement à une certaine quantité de TNT qui produirait la même énergie. Cela permet d'utiliser le graphe universel des explosifs qui représente l'atténuation du niveau de pression depuis l'épicentre de l'explosion en fonction de la distance. On a montré il y a longtemps que toutes les courbes d'atténuation pour toutes les charges pouvait être représenté sur un seul graphe (cf diapo précédente) où on substitue la distance réelle par un paramètre composite associant cette distance réelle et la racine cubique de la charge d'explosif. C'est la distance réduite.

Commence donc par calculer la masse d'explosifs équivalent à l'énergie libérée par l'éclatement d'une bouteille tôle de 14 l éclatant à 60 bars. Pour cela on utilise la formule encadrée et on fait attention à utiliser le système d'unité universel c'est-à-dire des volumes en mètre cube et des pressions en Pascal. On trouve assez aisément que la charge d'explosif équivalente est de 0,018 kilo de TNT.

Utilisation

On repère ensuite sur le graphe les éléments de structure qui peuvent correspondre à ceux qui se trouvent dans notre atelier. On y a vu une grande porte, un petit muret maçonné sur lequel reposent les bouteilles, à l'arrière un mur probablement en béton à un ou 2 m derrière les bouteilles. Il y a probablement également une salle de contrôle en matériau léger et une charpente que l'on imagine métallique à plusieurs mètres d'altitude.

La surpression à partir de laquelle ces éléments de structure peuvent être détruits (par une onde de pression) est à la même hauteur que la ligne qui décrit l'élément de structure. Par exemple la charpente métallique serait endommagée à partir de 250 millibars. Les murs maçonnés seraient endommagés à partir de 150 millibars environ tandis qu'un mur de béton armé résisterait à 600 millibars. Les portes et fenêtres souffriraient à partir de 100 millibars et les vitres seraient nettement endommagées dès 50 mbar.

On utilise ensuite la courbe d'atténuation de pression pour associer ces niveaux de surpression à leur distance réduite. Un exemple est donné pour les cadres des portes et fenêtres. À 100 millibars la distance réduite est de 12. On fait cela pour tous les éléments de structure répertoriés et on établit un tableau qui permet connaissant la charge d'explosif équivalente de trouver les distances où ces niveaux de surpression sont atteints.

Les éclatements de capacités



Figure 2 - S14 déformée par excès de pression



Figure 1 - Deux S14 éventrées

élément	Pruine (mbar)	Dist réduite	Distance réelle (m)
mur béton armé	600	4	1,1
charpente	250	7	1,8
mur maçonné	150	10	2,6
encadrements	100	12	3,2
vitrages	50	22	5,8

Commentaires

On constate que les dégâts observés sont assez cohérents avec ces estimations. Par exemple le mur est en contact avec les bouteilles a été endommagé ce qui est cohérent puisque la pression est plus grande 150 millibars à proximité immédiate de la bouteille. Par ailleurs le mur de béton armé situé derrière les bouteilles, probablement à plus d'un mètre, ne semble pas avoir souffert ce qui est cohérent avec les estimations, la pression étant plus petite que le seuil de dommage au-delà d'un mètre. En revanche on constate que l'encadrement de la grande porte semble avoir souffert ainsi que les ouvrants de la salle de contrôle. On peut supposer que cette dernière est à quelques mètres au plus des bouteilles. Les dégâts observés sont aussi cohérents. On n'observe pas de morceaux de charpente à terre ce qui également et logique si on suppose que cette charpente est située à une dizaine de mètres de hauteur.

Uniquement des dégâts internes donc. Cependant le seuil des effets irréversibles sur l'homme et de 50 millibars et correspond à des blessures infligées par des fragments produit par l'explosion. Des morceaux de verre la chute d'une plaque de faux plafond. Ce niveau est atteint à 5 m environ des bouteilles. Donc si l'opérateur avait été présent il aurait pu être blessé par l'onde de pression et probablement également par les projectiles notamment ceux soulevés par l'onde de pression.

Commentaires

Quelles mesures prendre ?

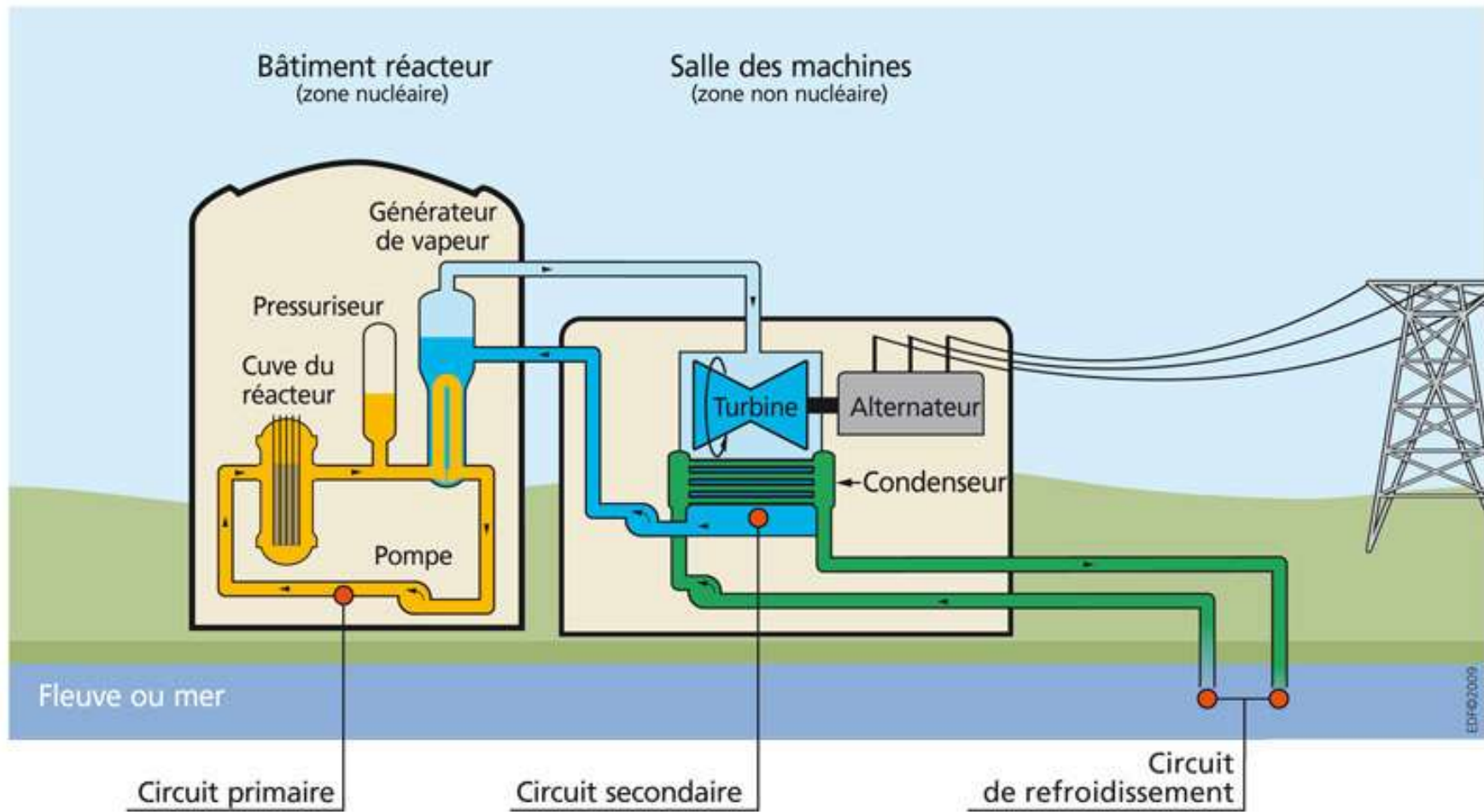
Évidemment on pourrait penser à une meilleure formation, à une habilitation systématique mais s'agissant d'air liquide, un grand groupe gazier qui maîtrise parfaitement la technologie des gaz et les les risques associés, pour qu'un accident de ce type puisse arriver cela suppose une organisation très lâche. Donc rien ne garantit qu'une mesure organisationnelle aurait un quelconque effet.

Il vaut donc mieux imaginer des barrières techniques. Il est intéressant d'observer la forme de la bouteille qui n'a pas éclaté alors qu'elle a été soumise à une pression de 60 bars comme les autres. Elle ne ressemble plus à un cylindre mais plutôt à une sphère. Elle s'est largement déformée si bien qu'il est possible d'imaginer une technique qui détecte ce changement de forme. Par exemple on pourrait disposer les bouteilles dans des cerclages relativement ajustés au diamètre et équipés d'un capteur piézoélectrique par exemple qui couperait automatiquement la mise sous pression dès qu'une déformation du cercle serait détectée.



Réaliser une APR

Pour l'implantation d'un EPR en lieu et place d'un ancien réacteur



EDF © 2009



Commentaires

Ce travail a été fait dans le prolongement de l'exercice 2 du TD 3:

Niveau	Exemple	Niveau	Définition	Exemple
Peu Fréquent / Fréquent	1 fois par mois	Mineur	Faible contamination d'un membre du personnel	Exposition d'un membre du personnel en situation nominale (maintenance)
Rare	1 fois tous 5 ans	Significatif	Contamination du personnel sans IP (AT).	Contact limité avec la matière radioactive (eau des piscines. Lors du rechargement.
Très rare	1 fois tous les 10 ans			
Extrêmement rare	1 fois tous les 50 ans	Grave	Contamination majeure du personnel avec décès/IP. Contamination limitée à l'extérieur.	Fuite sur circuit primaire. Contact avec les effluents ou les éléments radioactifs (visite décennale)
		Très grave	Contamination massive de l'environnement	Fuite massive de l'enceinte de confinement (explosion) entraînant décès et IP. Fusion du cœur.

	Mineur	Significatif	Grave	Très grave
Fréquent				
rare				
Très rare				
Extrêmement rare				

Identification des accidents

Ils doivent être suffisamment précis pour être décrits par une suite d'événements clairs c'est-à-dire « quantifiables » et reliés entre eux par des relations de causalité (« Ou », « Et »):

1. Fissure /destruction de l'enceinte de confinement
2. Fuite du circuit primaire
3. Ouverture du coeur
4. Fuite du circuit secondaire
5. Perte de matière radioactive
6. Fuite de la piscine de refroidissement

Phase ou équipement	Accidents	Causes	Conséquences	Risque potentiel P G C	Barrières existantes	Risque résiduel P G C	Remarques
cœur	Fuite sur circuit primaire	(OU)Fatigue de la tuyauterie (XR) (OU)Corrosion (XR) (OU)Desserrage sous cyclage/vibration (XR) (OU) Fuite sur organe (joints, arbre de pompe, vannes,..10 à 10 ⁻³ /an) (XR) (OU)Surpression -emballement du cœur (XR d'après REX) OU -bouchage du circuit de recirculation (XR) (OU)erreur lors de maintenance (tous les 10 ans au plus donc plutôt XR)	Émission d'eau et de gaz radioactifs dans l'enceinte de confinement, contamination grave du personnel)	4 3 1			

Phase ou équipement	Accidents	Causes	Conséquences	Risque potentiel P G C	Barrières existantes	Risque résiduel P G C	Remarques
cœur	Ouverture du cœur	<p>(OU) surpression importante due à un emballement du réacteur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - perte du refroidissement (type 3 miles Island ou Tchernobyl) (XR) OU - déformation de crayons (dilatation, flambage) trop vieux donc non changés (rotation de 15 ans) (XR) <p>(OU) Séisme violent (XR)</p> <p>(OU) corrosion/fatigue (XR)</p> <p>....</p>	<p>Émission d'eau et de gaz radioactifs dans l'enceinte de confinement, contamination grave du personnel)</p> <p>Emission d'hydrogène et d'oxygène et</p> <p>EXPLOSION</p>	4 3 1			

Domino (traité ci après) ←

Phase ou équipement	Accidents	Causes	Conséquences	Risque potentiel P G C	Barrières existantes	Risque résiduel P G C	Remarques
Enceinte de confinement	Fuite de l'enceinte de confinement	(OU) Explosion suite à ouverture du cœur (XR) (OU) séisme très puissant (XR) (OU) vieillissement(XR) ET fuite du circuit primaire (XR) (OU) Acte de guerre (XR) 	Émission d'eau et de gaz radioactifs dans la centrale et dans l'environnement	4 4 2			
Piscine	Fuite de la piscine	(OU)séisme (XR) (OU)fuite sur les organes du système de traitement (XR) (OU)débordement par inondation (XR)	Contamination des eaux	4 3 1			