

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

Maitrise des Risques

TD 8 : AMDEC-Barrières

UV TS01

Resp : christophe.proust@utc.fr

donnons un sens à l'innovation





AMDEC

Remarques

Dans son fonctionnement la méthode AMDE(C) ressemble beaucoup à l'HAZOP en ce qu'on conceptualise un défaut (défaillance, dérive), on en recherche les causes et on déduit toutes les conséquences de chaque cause.

La seconde ressemblance est que l'analyse porte sur un système (procédé, appareil) supposé fonctionnel dans son état nominal.

La différence réside essentiellement dans la proximité plus grande de l'AMDE avec la dimension matérielle ce qui fait que le « défaut » devient une défaillance matérielle.

L'AMDE peut donc venir en complément de l'HAZOP pour préciser une modalité de dérive d'un paramètre (« pas de débit » par exemple). En pratique, l'AMDE trouve toute son utilité dans l'étude des modes communs de défaillance (perte d'électricité, d'air comprimé) et dans la sûreté de fonctionnement (et son pendant les « barrières de sécurité »)

Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (et Criticité) AMDE(C)

Approche par le mode de défaillance : Démarrage ou arrêt intempestif, refus de ...

Identifier les défaillances

Déterminer les conséquences

Evaluer la gravité

Proposer des actions correctives

Les choix préliminaires

- Types d'approche

- Qualitative
- **Semi-quantitative**
- Quantitative

L'approche est fondamentalement qualitative mais l'introduction de la criticité permet d'apporter de la quantification. Quantification complète difficile car un seul mode de défaillance à la fois.

- Structuration de l'analyse

- Fonctionnelle
- **Matérielle**

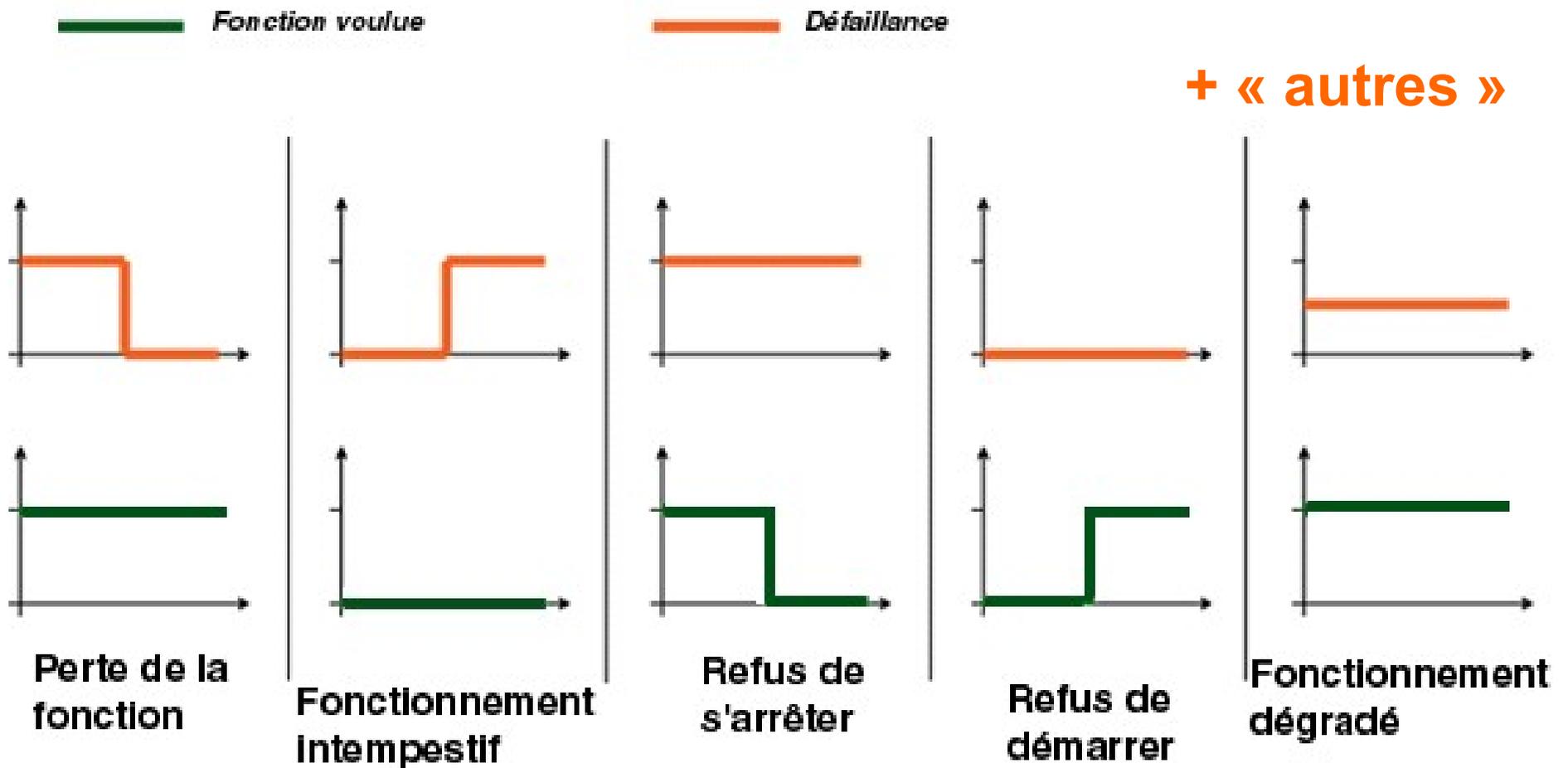
L'entrée est un des états de l'appareil c'est-à-dire une de ses fonctions (« état de fonctionnement »). Mais on ne peut pratiquer la méthode (i.e. remplir le tableau) sans étudier les matériels constitutifs.

- Niveau de décomposition le plus bas

- Systèmes / sous systèmes
- **Appareils**
- Composants

Un « appareil » est un dispositif constitué de « composants ». C'est l'appareil qui réalise une fonction. Par exemple une vanne pilotée comporte un corps de vanne et un actionneur. Les deux états de la vanne peuvent être « d'alimenter un réacteur » ou de « l'isoler ». Dans une étude plus approfondie on pourrait considérer l'actionneur comme un appareil...

Le mode de défaillance considérés



A ne pas confondre avec les causes

Mode de défaillance vs Causes



Mode de défaillance	Causes
Comment ? <i>(selon quelle modalité)</i>	Pourquoi ?
Refus de s'ouvrir	Blocage mécanique Erreur humaine <i>(défaut de commande pour vanne pilotée)</i>

Déroulement de l'analyse

1. Définition de l'élément à étudier
2. Définition de sa (ses) fonction (s)/ état(s)
3. Recherche des modes de défaillance
4. Définition des critères de gravité
5. Recherche des causes
6. Détermination des conséquences
7. Evaluation de la gravité
8. Recherche des moyens de détection
9. Recherche des actions correctrices

*Remplissage
du tableau*

Identification du composant	Fonction État	Mode de défaillance	Causes	Effets	G	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques

Remarques

On rappelle que les conséquences sont à relier aux causes plutôt qu'au mode de défaillance.

G est la gravité souvent sur 4 niveaux (voir ci après). La gravité se déduit de chaque conséquence **en regard d'un critère de risque** (atteinte du personnel, atteinte des installations, atteinte à la production,...).

Les « moyens de détection » sont ceux que vous voyez dans le schéma descriptif de l'appareil. De même pour les « actions correctives ». Elles peuvent être déjà implémentées dans le fonctionnement de l'appareil où simplement existantes mais non employées pour la cause considérée.

On met dans la colonne remarque ce qui doit faire l'objet d'une action. Dans le cas précédent (moyen de détection et action corrective existants mais non mobilisé), on notera dans la colonne « remarques » qu'il faut implémenter cette solution. Si rien n'est prévu alors on détaille ce qu'il faudrait faire dans cette même colonne.

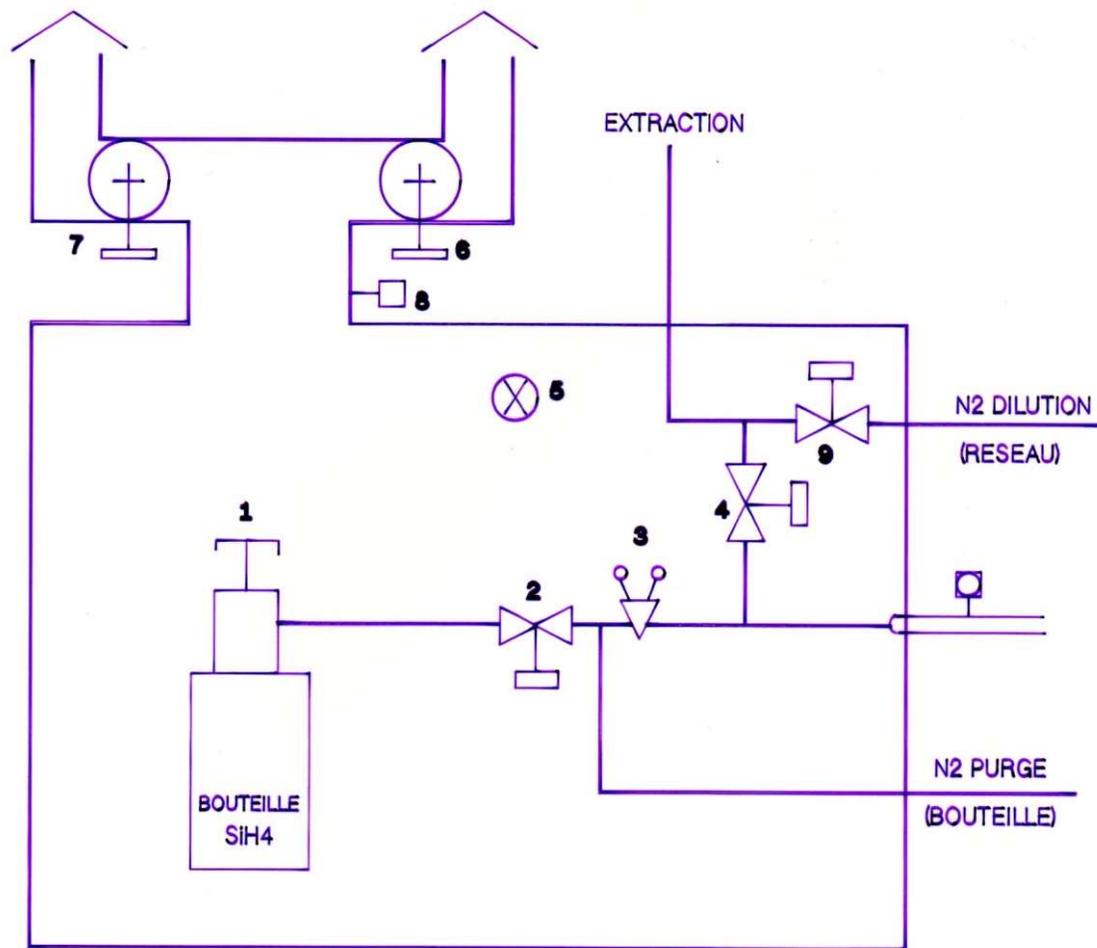
On peut remplir ces 3 dernières colonnes pour toutes les causes mais ce serait très lourd et risquerait de diluer les décisions essentielles, celles qui doivent être prises pour réduire le risque. Il est préférable de ne remplir que les lignes avec une gravité suffisante.



Stockage de Silane

Propriété du Silane (SiH_4)

- Gaz liquéfié
- Extrêmement inflammable
- Peut s'enflammer spontanément au contact de l'air
- Peut causer l'asphyxie à concentration élevée



- 1 . VANNE BOUTEILLE
- 2 . VANNE PNEUMATIQUE (FC)
- 3 . MONODETENDEUR
- 4 . VANNE PNEUMATIQUE (FC)
- 5 . DETECTEUR PRESENCE SiH₄ (ALARME)
- 6 . VENTILATEUR NORMAL
- 7 . VENTILATEUR DE SECOURS (ASSERVI A L'ARRET DE 6)
- 8 . DEBIMETRE VENTILATION (ALARME NIVEAU BAS)
- 9 . VANNE PNEUMATIQUE.

Explications

Le silane est utilisé dans l'industrie de l'électronique pour fabriquer des circuits imprimés ou des panneaux solaires. Le principe consiste à projeter par plasma ce gaz sur des supports électroniques. Cette projection se fait dans des caissons sous pression sub atmosphérique.

Le silane est un produit très réactif qui peut s'enflammer spontanément en présence d'air c'est-à-dire que le risque d'explosion et d'incendie est certain dès qu'une fuite se produit. Comme il s'enflamme facilement il explose aussi très violemment. C'est aussi un produit toxique.

Si on faisait l'analyse de risque, on se rendrait compte que la probabilité de fuite est assez significative que l'explosion est inacceptable. Pour cette raison on prend de grandes précautions pour limiter ce risque. C'est le rôle de ce local ventilé de récupérer et de diluer en dessous du seuil d'explosion les éventuelles fuites de silane. Dans l'atelier, on procède différemment puisque les caissons sous sont sous basse pression (sous azote souvent) si bien que le silane ne peut fuir à l'extérieur ni s'enflammer. Il suffit pour maîtriser le risque d'éviter que des fuites sur les canalisations d'alimentation se mélangent à l'air. On dispose la canalisation dans une double enveloppe souvent balayée à l'azote. Une augmentation de la pression dans la double enveloppe témoigne d'une fuite.

Explications

Le local où se trouve le silane est une pièce sans fenêtre munie d'une porte et de ventelles. La ventilation est assurée par le ventilateur 6. Le ventilateur 7 est une sécurité. Il ne démarre que si le débitmètre 8 le décide. Le débit de ventilation est calculé de manière que le rapport entre le débit de fuite de silane et le débit ventilation soit plus petit que la limite inférieure d'explosivité.

Lorsque la bouteille est vide, il est indispensable d'arrêter la ventilation sinon la dépression produite ne permet pas d'ouvrir la porte. C'est une opération délicate parce que si une fuite existe une atmosphère explosive peut s'accumuler pendant cette période d'arrêt de la ventilation. Le détecteur 5 avec son alarme permet de s'assurer qu'il n'y a pas de fuite ce qui suggère un certain temps d'attente avant d'ouvrir la porte. On voit donc que l'un des rôles de la ventilation est de permettre la mise en dépression du local. Cela évite des intrusions dans le local et cela évite aussi qu'une fuite importante ne diffuse vers l'atelier.

La vanne 2 permet d'alimenter l'atelier en silane lorsque la production a lieu. Le dépôt de silicium par le silane se traduit aussi par la production d'une poudre habituellement nocive pour les circuits imprimés. Il est nécessaire d'arrêter la production régulièrement pour ouvrir les caissons et les nettoyer. Cela fait partie du cycle de production. La vanne 2 doit alors être fermée hermétiquement.

Explications

Le rôle du manodétendeur 3 est de maintenir la pression d'alimentation du procédé à une valeur constante quelque que soit la pression dans la bouteille. À l'atelier dispose d'une alimentation d'azote qui sert sans doute d'une part à mettre sous atmosphère neutre les caissons et d'autre part à les purger avant leur ouverture de façon à éliminer toute trace de silane. Ce circuit de purge aboutit à la vanne 9.

De même lors de l'arrêt pour nettoyage, la canalisation d'alimentation en silane doit être dépressurisée c'est le rôle de la vanne 4. La présence du débit d'azote à travers la vanne 9 permet de diluer ce flux de silane pur. Cela évite son inflammation sur le toit.

Cependant ces vannes ne suffisent pas pour évacuer la pression située entre la bouteille et le manodétendeur. Pour cela une alimentation sous azote à plus haute pression, à partir de bouteilles, est utilisée. Le mélange silane azote traverse le manodétendeur et sort via la vanne 4.

Etape N° 1

- Sélectionner les éléments à étudier :

➤ ...

Dans un système comme celui-ci, assez complexe, on n'étudie pas tout. On s'intéresse uniquement aux appareils qui ont un impact sur la sécurité.
Or que craint on? On redoute la formation d'une atmosphère explosive dans le local et la formation d'une atmosphère explosive, c'est à dire d'une fuite de silane, dans l'atelier.

Etape N° 1

- Sélectionner les éléments à étudier :
 - Ventilation => extracteurs (6 et 7)
 - Alimentation de l'atelier => vannes automatiques (2 et 4)

Ce sont les extracteurs qui empêchent la formation d'une ATEX dans le local et ce sont les vannes qui permettent de couper l'alimentation de l'atelier et de purger les lignes quand c'est nécessaire, par exemple quand on veut nettoyer les caissons.

Les autres appareils comme le détecteur ou le débitmètre servent à contrôler le fonctionnement des vannes et des extracteurs. Ils apparaîtront lors de la réalisation de l'AMDEC.

Etape N° 2

- Définir les fonctions assurées par les :
 - Vannes
 - ❖ ...
 - Ventilateurs (on dit aussi « extracteurs »)
 - ❖ ...

La fonction d'un appareil représente l'un de ces états de fonctionnement possibles. Un appareil on peut avoir des plusieurs états possibles. Par exemple un ordinateur ça peut servir à faire de la bureautique, de la surveillance, du pilotage ... On voit donc que la fonction dépend de l'environnement matériel mais aussi de l'objectif qu'on se fixe. Ici on s'intéresse aux états relatifs à la sécurité.

Etape N° 2

Définir les fonctions assurées par les :

Vannes

- Vanne 2 :
 1. Alimente l'atelier en silane
 2. Isole l'atelier (stoppe l'alimentation de l'atelier en Silane)
- Vanne 4 :
 1. Dépressurise l'alimentation de l'atelier
 2. « isole » les canalisations de l'extérieur (de l'atelier et du local)
 3. Purge les canalisations du local (si N2 bouteilles activé)

Extracteurs

- Extracteur 6 :
 1. Assure un débit d'air capable de diluer le silane < LIE
 2. Met le local en dépression (évite diff silane dans l'atelier)
- Extracteur 7 :
 1. Démarre si débit 8 insuffisant (fonction de secours)
 2. Assure un débit d'air capable de diluer le silane < LIE

Etape N° 3: modes de défaillance

Termes génériques

- Perte de fonction
- Fonctionnement intempestif
- Refus de s'arrêter
- Refus de démarrer
- Fonctionnement dégradé

- Autres

Significations pour une vanne

- Fermeture intempestive
- Ouverture intempestive
- Refus de fermeture
- Refus d'ouverture
- Ouverture partielle

- Fuite interne
- Fuite externe

Etape N° 3: modes de défaillance

Termes génériques

- Perte de fonction
- Fonctionnement intempestif
- Refus de s'arrêter
- Refus de démarrer
- Fonctionnement dégradé

- Autre

Significations pour un extracteur

- Arrêt intempestif
- Démarrage intempestif
- Refus de s'arrêter
- Refus de démarrer
- Débit non nominal
- Débit inversé
- Débit non stabilisé

- Vibration
- Échauffement

Explications

On rappelle que la méthode AMDEC a d'abord été mise au point, conceptualisée, pour des appareils électriques. Donc certains modes de défaillance, propres aux vannes, aux ventilateurs, bref à la mécanique des fluides, ne sont pas couverts par les termes génériques. On utilise alors la rubrique « autre » pour faire apparaître les spécificités de la mécanique des fluides.

En matière de risques, le fluide qui est véhiculé dans une canalisation est dangereux : toxique ou explosif. Donc un risque est une fuite vers l'extérieur (« fuite externe ») mais aussi une fuite interne à la vanne entre l'amont et l'aval alors que l'on suppose que la vanne est supposée fermée. On appelle ça la « fuite interne ».

Pour l'extracteur, l'expérience montre que lorsque l'appareil fonctionne mal il vibre, frotte, s'échauffe. Les vibrations peuvent produire des desserrages donc des fuites tandis que l'échauffement, parfois très violent est une source principale d'inflammation des atmosphères explosives. C'est pourquoi ces 2 modes de défaillance apparaissent pour les extracteurs.

Etape N° 4

Définir les classes de gravité :

1. Mineur
2. Significatif
3. Grave
4. Très grave

À nouveau il ne faut pas perdre de vue l'objectif de l'analyse qui porte sur les aspects sécurité. La gravité doit donc être évaluée à partir d'éléments qui vous semblent représenter les conséquences d'un accident lié aux appareils que vous étudiez c'est-à-dire dans le cas présent la fuite d'un produit hautement inflammable.

Comme d'habitude on commence par qualifier les 2 extrêmes de l'échelle: mineur et très grave. Mineur ne signifie pas que tout va bien qu'il ne se passe rien. Dans le contexte de l'AMDEC, il se passe toujours quelque chose. Une panne est apparue mais une panne « sûre ».

Etape N° 3 : classes de gravité

Niveau	Définition
1	Sans conséquence
2	Fonctionnement dégradé de l'installation
3	Arrêt de l'installation
4	Incendie sévère / explosion

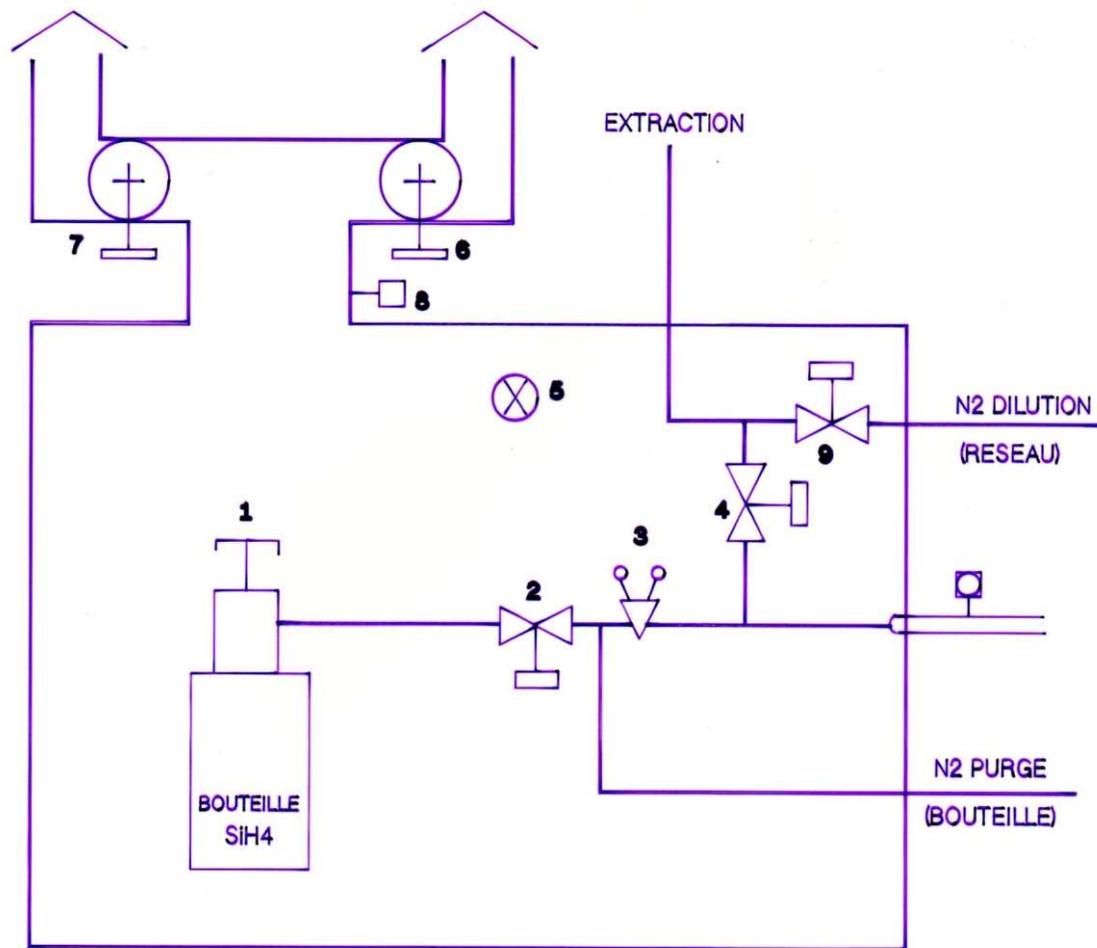
« Très grave » correspondrait au pire imaginable. Une fuite a eu lieu, a provoqué une explosion et un incendie. C'est ce qu'on voulait éviter absolument donc cela correspond à l'échec majeur des appareils. Dans « mineur », les fonctions de sécurité sont assurées mais une défaillance a eu lieu par exemple le ventilateur 7 a démarré intempestivement alors que le l'extracteur 6 fonctionnait. Le débit est trop grand mais cela va dans le sens de la sécurité. Cet incident est « sans conséquence ». En revanche, si le ventilateur 7 elle est en panne l'installation peu assurer son fonctionnement tant que le ventilateur 6 reste fonctionnel: c'est un mode « dégradé ». Le niveau du dessus « significatif » correspondrait à une perte de fonctionnement de l'installation qui se traduirait par un « arrêt » pour réparation sans doute très dommageable pour l'usine.

Etape N° 5 et + : étude

Faire l'étude :

- des vannes automatiques (2 & 4)
- des ventilateurs (6 & 7)

Identification du composant	Fonction État	Mode de défaillance	Causes	Effets	G	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques



- 1 . VANNE BOUTEILLE
- 2 . VANNE PNEUMATIQUE (FC)
- 3 . MONODETENDEUR
- 4 . VANNE PNEUMATIQUE (FC)
- 5 . DETECTEUR PRESENCE SiH_4 (ALARME)
- 6 . VENTILATEUR NORMAL
- 7 . VENTILATEUR DE SECOURS (ASSERVI A L'ARRET DE 6)
- 8 . DEBIMETRE VENTILATION (ALARME NIVEAU BAS)
- 9 . VANNE PNEUMATIQUE.

Identification du composant	Fonction État	Mode de défaillance	Causes	Effets	G	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques
Vanne 2	Isole l'atelier (Stoppe l'alimentation)	Ouverture intempestive	Défaut de commande	Rejet de silane dans l'atelier , ou en toiture quand ouverture de V4 => Inflammation	4	?	?	Mettre en place un débitmètre avec alarme (ou un FC)
		Fuite interne	Usure siège	Idem	4	?	?	?
		Fuite externe	Défaut joint	Rejet dans le local de stockage	3 ou 4	Détecteur 5	Ventilation Fermeture vanne 1	
		Refus de fermeture	Blocage mécanique	Poursuite alimentation silane	2?	Détection dans l'atelier?	Fermeture vanne 1	(A valider)
	Alimente	Fermeture intempestive	Perte de commande	Arrêt de la production	3	?		Débitmètre ou Instrumenter le mano détenteur
		Refus d'ouverture	Perte de commande	Arrêt de la production	3	Détection dans l'atelier?		idem
		Ouverture partielle	Blocage mécanique	Production dégradée ou arrêt de production	2 ou 3	Idem		
		Fuite externe	Défaut joint	Idem et rejet dans le local de stockage	3 ou 4	Idem et Détecteur 5	Fermeture vanne1	

Explications

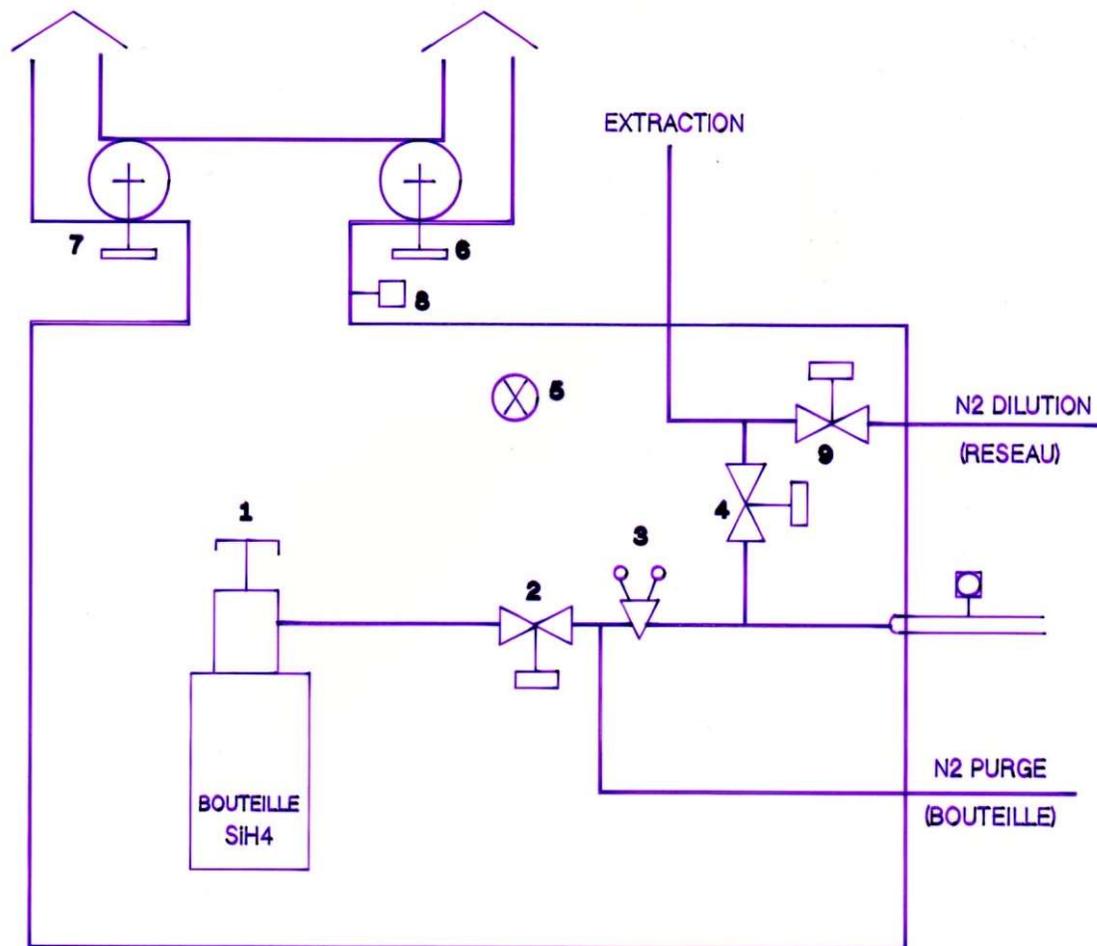
Pour ne rien oublier, il est conseillé d'étudier les modes de défaillance d'une fonction en débutant par la mise en œuvre de ladite fonction. Par exemple si on s'intéresse à la fonction « isole l'atelier », on part de la situation où l'atelier est en fonctionnement donc le silane est alors admis dans les caissons et on décide d'arrêter la production pour procéder au nettoyage. Donc le premier mode de défaillance qui apparaît c'est le « refus de fermeture » de la vanne 2.

On remarque sur le dessin le symbole FC à côté de la légende des Vannes 2 et 4 . Ce symbole peut signifier Flow Control où Fail Closed. Dans ce contexte, la signification Fail Closed doit être prise en compte. Cela signifie que l'actionneur de la vanne est muni d'un ressort de rappel qui ferme automatiquement la vanne lorsque l'alimentation d'air comprimé est stoppée.

Avec cette information, on comprend mieux que le refus de fermeture de 2 ne peut résulter que d'un blocage mécanique alors que « l'ouverture intempestive » ne peut être due qu'à un défaut de la commande pneumatique. La fuite interne correspond à un débit non voulu de silane entre l'amont et l'aval de 2 alors que la vanne est fermée. C'est possible si le siège de la vanne est abîmé ou qu'un dépôt s'y est accumulé. Une fuite externe est possible soit à travers les raccords sur la canalisation ou plus probablement à travers les joints d'étanchéité de la tige de la vanne.

Explications

À propos de l'indice de gravité, on comprend assez facilement qu'une ouverture intempestive de la vanne 2 ou une fuite interne produiraient une accumulation non voulue de silane dans les caissons ou dans l'atelier alors que les opérations de nettoyage sont en cours. On peut s'attendre à des explosions et à un incendie avec des conséquences « très graves » pour le personnel et les installations. Un refus de fermeture devrait avoir des conséquences moins importantes notamment parce qu'au moment où l'ordre de fermeture est donné les caissons sont fermés et sous atmosphère neutre. Il est très probable que les caissons sont contrôlés précisément et notamment le débit de silane. On devrait alors disposer d'un moyen de contrôler l'arrêt de l'alimentation avec les débitmètres des machines mais c'est à vérifier. De ce fait, on considère que cet événement est significatif, le fonctionnement est « dégradé » au minimum, mais peut-être pas très grave. La fuite externe dans le local devrait en principe être gérée par le débit de ventilation sensé éviter la formation d'une ATEX. Cela dépend évidemment de la manière dont le débit de ventilation a été calculé et en particulier sur la base de quel débit de fuite. Si l'ATEX ne se forme pas, cet incident ne conduira pas à une explosion mais nécessitera néanmoins l'arrêt total de la production le temps de réparer ou de changer la vanne. Ce serait un incident « grave ».



- 1 . VANNE BOUTEILLE
- 2 . VANNE PNEUMATIQUE (FC)
- 3 . MONODETENDEUR
- 4 . VANNE PNEUMATIQUE (FC)
- 5 . DETECTEUR PRESENCE SiH_4 (ALARME)
- 6 . VENTILATEUR NORMAL
- 7 . VENTILATEUR DE SECOURS (ASSERVI A L'ARRET DE 6)
- 8 . DEBIMETRE VENTILATION (ALARME NIVEAU BAS)
- 9 . VANNE PNEUMATIQUE.

Identifi- cation du composant	Fonction État	Mode de défaillance	Causes	Effets	G	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques			
Ventilateur 6	Met le local en dépression	Refus de démarrer	Oubli de l'opérateur	Absence ventilation	2 4	?	?	Procédure de vérification Démarré t on l'installation dans ces conditions ?			
			Défaillance mécanique	Basculement sur Ventilateur 7	2	Débitmètre 8 Asservis- sement	Cf. effet				
			Défaut de commande	Idem?	2?						
			Perte d'électricité	??	3	??					
	Dilue en dessous de la LIE	Arrêt intempestif	Arrêt intempestif	Défaillance mécanique	Basculement sur Ventilateur 7	2	Débitmètre 8 Asservis- sement	Cf. effet	Procédure d'arrêt ?		
				Défaut de commande	Idem?	2?					
				Perte d'électricité	??	3 ou 4	Détecteur 5				
				Accumulation de SiH ₄							
		Refus de s'arrêter	Refus de s'arrêter	Refus de s'arrêter	Défaut de commande	Fonctionnement intempestif	1				
					Débit non nominal	Défaillance mécanique	Aspiration insuffisante	2 ou 4	Débitmètre 8 ? Détecteur 5		
					Débit non stabilisé	Défaillance de régulation	Idem				
					Vibration	Défaillance mécanique	Endommagement de l'installation	2 ou 3	??		Contrôle opérateur
	échauffmt	idem	idem	Idem ou ??	1 ?	??		idem			

Explications

Les causes du mode de défaillance « met le local en dépression » peuvent d'abord être une erreur de l'opérateur qui, après avoir changé la bouteille et fermé le local, oublie de rebrancher la ventilation. Mais il peut aussi y avoir une défaillance du ventilateur ou un défaut de commande ou une panne d'électricité.

Dans le cas d'un défaut mécanique alors le débitmètre 8 détectera la panne et démarrera le ventilateur 7. C'est un fonctionnement « dégradé ». On peut penser que c'est la même chose pour un « défaut de commande » sauf si l'automate qui gère la ventilation opère à la fois le ventilateur 7 et le ventilateur 6. Donc il est possible dans ce cas-là que la ventilation ne démarre pas du tout et on aurait une situation comparable à l'erreur de l'opérateur. Dans ce dernier cas, les conséquences sont assez indéterminées. Clairement la fonction de sécurité n'est pas assurée donc c'est au minimum un « mode dégradé » mais dans le cas où une fuite aurait lieu, ce qui est fort possible dans les circonstances de démarrage de l'installation c'est-à-dire lorsqu'on vient de changer la bouteille, alors rien n'empêchera un accident majeur. C'est pourquoi, le niveau de gravité est compris entre 2 et 4. Le cas de la perte d'électricité (mais on pourrait dire la même chose de la perte d'air comprimé) est un mode de défaillance majeur que l'on retrouve à différents endroits, sans doute un mode commun qui fait perdre le contrôle complet de la fonction sécurité mais peut-être également stoppe tout l'atelier. Quel est alors le niveau de risque ? En principe il faudrait l'étudier séparément avec la méthode AMDEC.

Identificati on du composant	Fonction État	Mode de défaillance	Causes	Effets	G	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques
Vanne 4	« isole » les canalisations de l'extérieur	Ouverture intempestive	Défaut de commande	Rejet de silane pur à l'extérieur => Inflammation	2-3	?	?	Mettre en place un débitmètre avec alarme (ou un FC)
		Fuite interne	Usure siège	Idem	2-3	?	?	?
		Fuite externe	Défaut joint	Rejet dans le local de stockage	3 ou 4	Détecteur 5	Ventilation Fermeture vanne 1	
		Refus de fermeture	Blocage mécanique	Risque de rejet de silane à l'étape suivante => arrêt	3	?	Vanne V1 fermée	Mettre un fin de course
	Dépressurise l'alimentation de l'atelier	Fermeture intempestive	Perte de commande	Arrêt de la purge, blocage de la production ?	3	?		Mettre en place une procédure ?
		Refus d'ouverture	Perte de commande	Absence de purge, blocage de la production ?	3	?		idem
		Ouverture partielle	Blocage mécanique	Prolongation durée de purge	2			
		Fuite externe	Défaut joint	Rejet dans le local de stockage	3 ou 4	Détecteur 5	Fermeture vanne1	

Dernière fonction non traitée

Identificati on du composant	Fonction État	Mode de défaillance	Causes	Effets	G	Moyens de détection	Actions correctives	Remarqu es
Ventilateur 7	Démarré si débit 8 insuffisant (fonction de secours)	Démarrage intempestif	Défaut de commande	Débit excessif dans local	1			Dommage able ?
		Refus de démarrer	Défaut de commande	Local non protégé	2 ou 4	Débitmètre 8 ? Décteur 5	Arrêt de l'installation ?	vérifier
			Défaut mécanique	Idem	Id	Idem	idem	
			Perte d'électricité	?				étudier schéma électrique
	Assure un débit d'air capable de diluer le silane < LIE	Arrêt intempestif	Idem refus de démarrer					
		Refus de s'arrêter	Défaut de commande	Fonctionnement intempestif	1			
		Débit non nominal	Défaillance mécanique	Aspiration insuffisante	2 ou 4	Débitmètre 8 ? Décteur 5		Si on considère une fuite résiduelle
		Débit non stabilisé	Défaillance de régulation	Idem				
		Vibration	Défaillance mécanique	Endommagement de l'installation	2 ou 3	??		Contrôle opérateur
		échauffement	idem	Idem ou ??	2-	??		idem



Questions subsidiaires

- La vanne 9 doit-elle être FC ou FO (Fail Open) ?
- Problème des modes communs ?