UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

Maitrise des Risques

Cours 8 : la méthode HAZOP

UV TS01

Resp : christophe.proust@utc.fr

La méthode HAZOP

Une méthode ciblée sur les « briques » de procédés et vise à « pister » les dérives, leurs effets éventuels et les modifications à apporter

HAZard & OPerability Studies

Approche par la dérive des paramètres

« **TROP DE** débit »

En 1963, construction par ICI d'une installation de production de **phénol** et d'**acétone** à partir de **cumène** :

- Réduction extrême des coûts => n'est-on pas allé trop loin ?
- Etude pour trouver les points faibles et optimiser l'argent mis à disposition en s'inspirant de méthodes d'organisation

Désormais normalisée : CEI 61882

DESCRIPTION OF ELEMENT _____ METHOD STUDY: CRITICAL EXAMINATION SHEET *Reference* _____ *Page* _____ *Date* _____

The Present Facts		Alternatives	Selection for Development
WHAT is achieved?	WHY?	What ELSE could be achieved?	What SHOULD be achieved?
HOW is it achieved?	WHY THAT WAY?	How ELSE could it be achieved?	How SHOULD it be achieved?
WHEN is it achieved?	WHY THEN?	When ELSE could it be achieved?	When SHOULD it be achieved?
WHERE is it achieved?	WHY THERE?	Where ELSE could it be achieved?	Where SHOULD it be achieved?
WHO achieved it?	WHY THAT PERSON?	Who ELSE could achieve it?	Who SHOULD achieve it?

Amélioration interne dans le groupe ICI

Formation par IChemE à partir de 1974

ALLIANCE SORBONNE UNIVERSITÉ utc Formation

Mots guides et des paramètres

- **TROP DE** excès d'un paramètre (débit, pression, température, viscosité,....)
- **PAS DE** absence du paramètre désiré
- **INVERSION DE SENS**
- **MOINS DE** (ou PAS ASSEZ de) insuffisance d'un paramètre
- **EN PLUS** présence intempestive (phase : vapeur, solide,... impuretés, eau, air,...)
- **AUTRES** démarrage intempestif, arrêt, fonctionnement trop rapide, trop lent,....

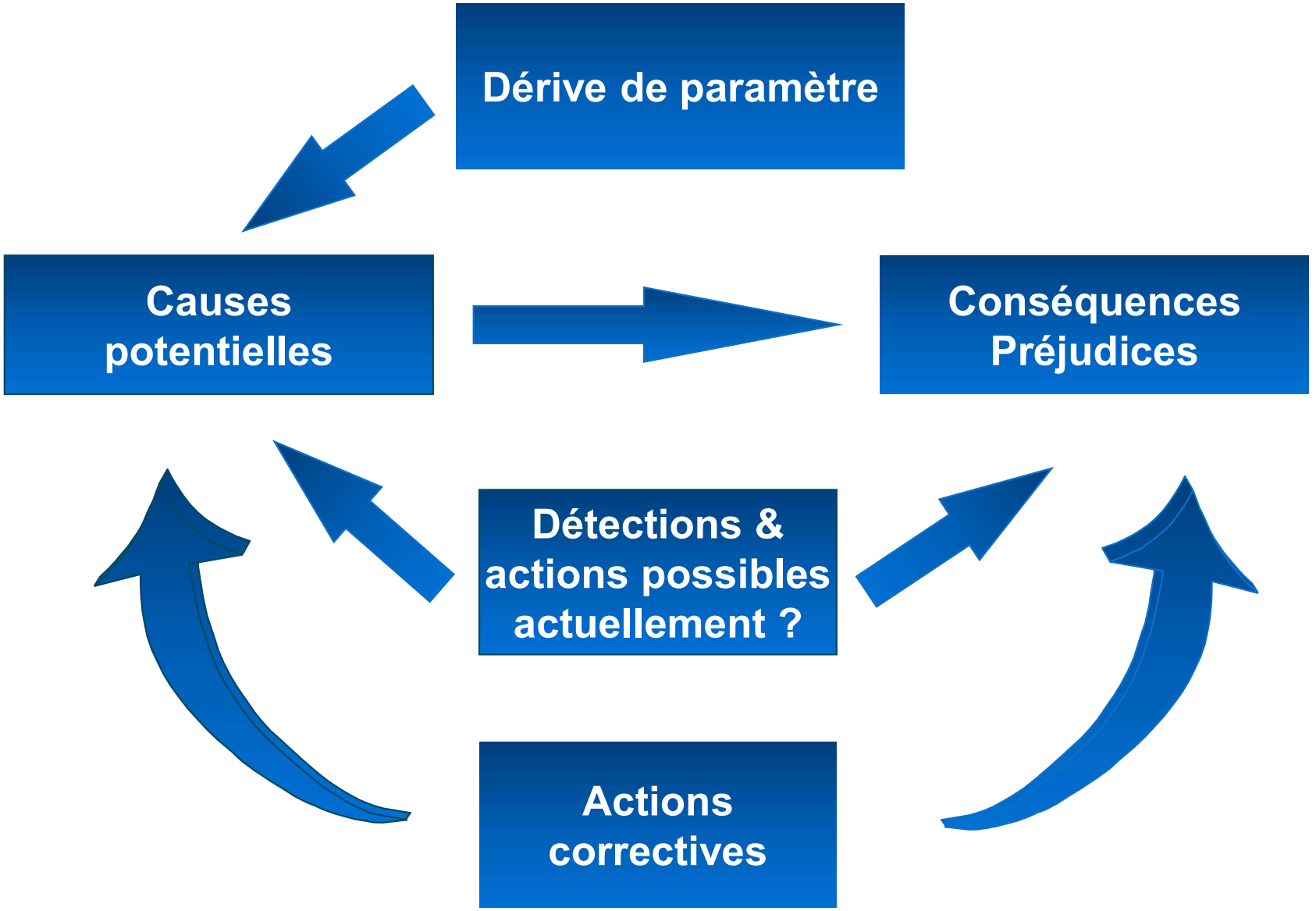
Cas des procédés en « batch »

- AVANT
- APRES
- TROP TÔT
- TROP TARD

Mots guides et des paramètres

- **Débit**
- **Niveau**
- **Pression**
- **Température**
- **Concentration**
- **Temps**
- **Des opérations à réaliser**
- …

Principe de la démarche HAZOP



Importance du lien causes / conséquences

Dérive		**Conséquences**
Trop de pression	->	déformation de l'enveloppe, éclatement
Seules solutions:		capteur de pression ou soupape

Si on recherche les **causes** :

- fermeture vanne en aval
- surdimensionnement du compresseur ou défaut de régulation

Importance du lien causes / conséquences

Dérive	Conséquences
Trop de débit de fluide caloporteur	réaction trop chauffée (emballement de réaction) sauf si rupture du circuit caloporteur en amont du réacteur - absence de chauffage - fuite du fluide à l'extérieur (et inflammation ?)

Les étapes

1. Choix des **points** à étudier

   « capteurs du circuit » ou points spécifiques

2. Définir les **paramètres**

   ne pas hésiter à être le plus complet possible => retenir des paramètres qui se découplent (débit / niveau (fuite))

3. Choisir les **mots guides**
4. Débuter l'**étude**

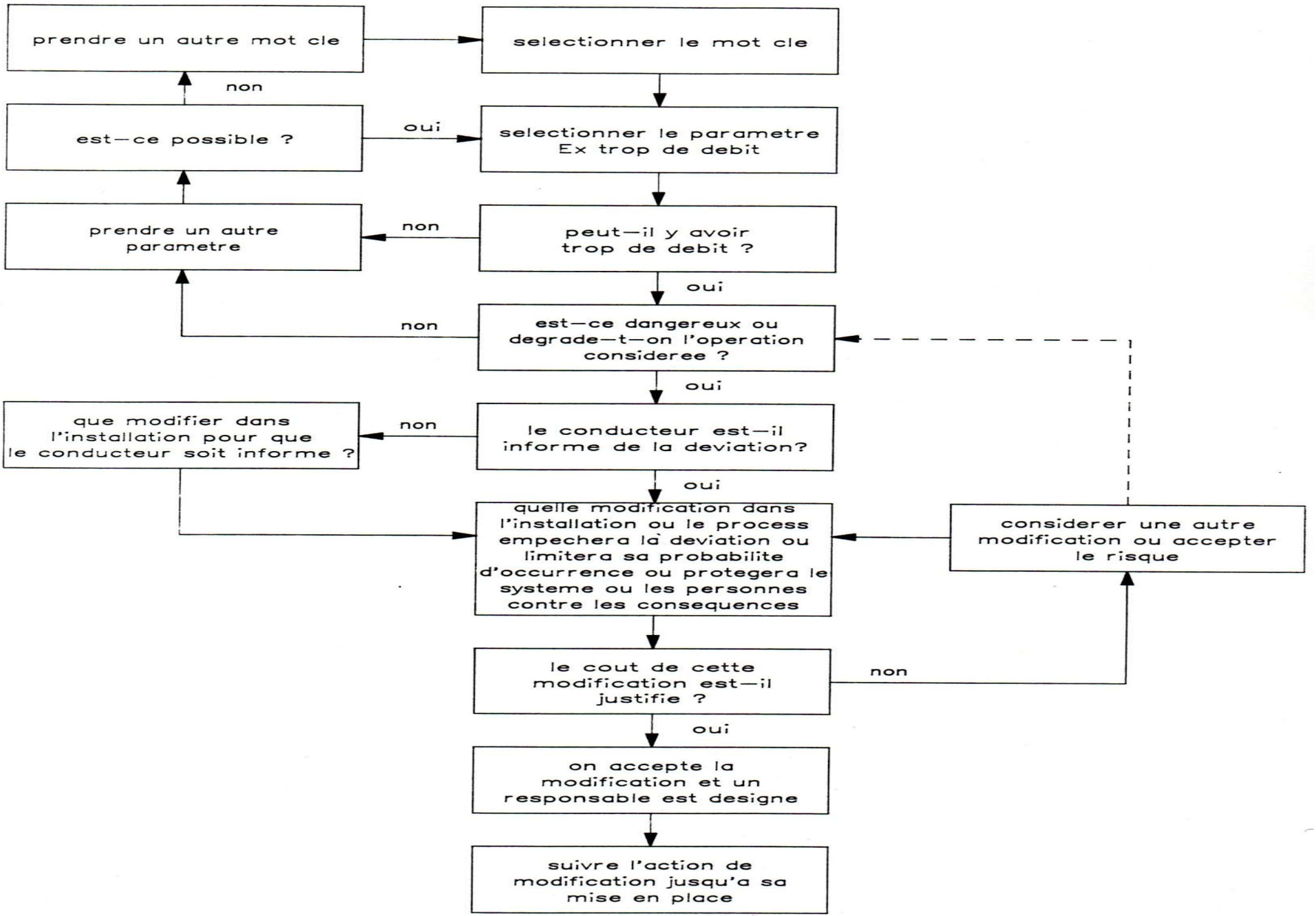

prendre un autre mot cle
selectionner le mot cle
non
est—ce possible ?
oui
selectionner le parametre
Ex trop de debit
prendre un autre
parametre
non
peut—il y avoir
trop de debit ?
oui
non
est—ce dangereux ou
degrade—t—on l'operation
consideree ?
oui
que modifier dans
l'installation pour que
le conducteur soit informe ?
non
le conducteur est—il
informe de la deviation?
oui
quelle modification dans
l'installation ou le process
empechera la deviation ou
limitera sa probabilite
d'occurrence ou protegera le
systeme ou les personnes
contre les consequences
considerer une autre
modification ou accepter
le risque
le cout de cette
modification est—il
justifie ?
non
oui
on accepte la
modification et un
responsable est designe
suivre l'action de
modification jusqu'a sa
mise en place

Tableau HAZOP

–Phase :
–Point du circuit :

REPERE	DERIVE	CAUSES POSSIBLES	CONSEQUENCES	MOYENS DE DETECTION	ACTIONS CORRECTIVES	REMARQUES
				Existants		

Possibles en fonction :
- des installations
- des procédures existantes

Eventuelle quantification de la gravité pour hiérarchiser les actions

Doit être complété par un tableau de suivi des actions décidées

Le groupe de travail

Nouvelle installation

- Chef de projet
- L'ingénieur process
- Le futur exploitant
- L'instrumentiste
- Un membre service de maintenance
- Un chimiste R&D
- L'expert HAZOP

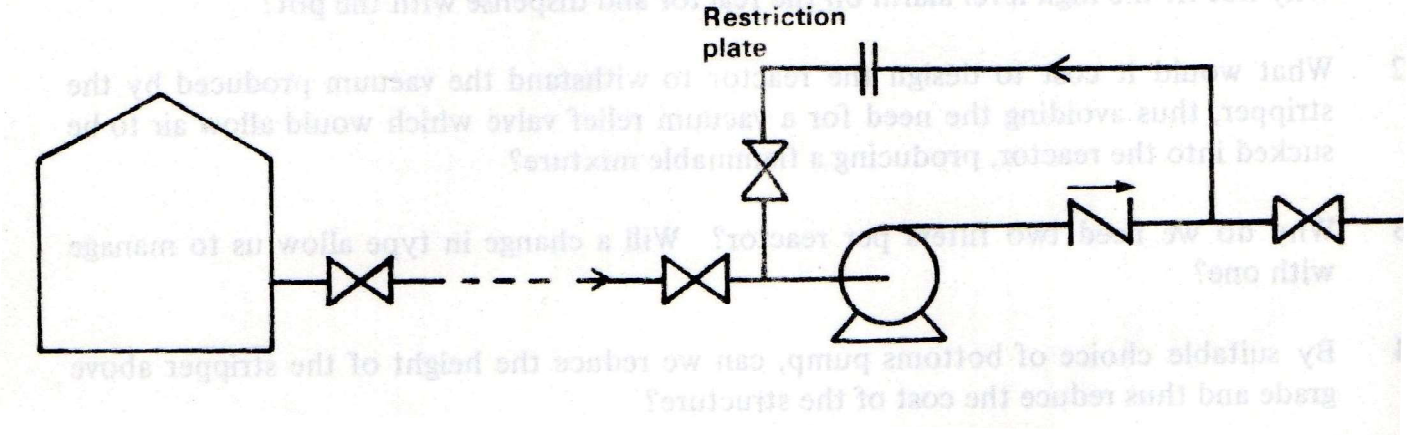
Installation existante

- Le responsable d'unité
- Le contremaître responsable de l'installation
- L'ingénieur de production
- L'ingénieur sécurité
- L'instrumentiste
- Un membre du service de maintenance
- L'ingénieur d'étude
- L'expert HAZOP

Nombre optimal 7- 8 personnes, dont le « financier »

Documents ?

- Travail le plus tôt possible mais sur des documents « fiables » (PID)
- Éventuellement sur flowsheets …



- Recherche des dérives
  - Indésirables
  - Bénéfiques

Pour être efficace

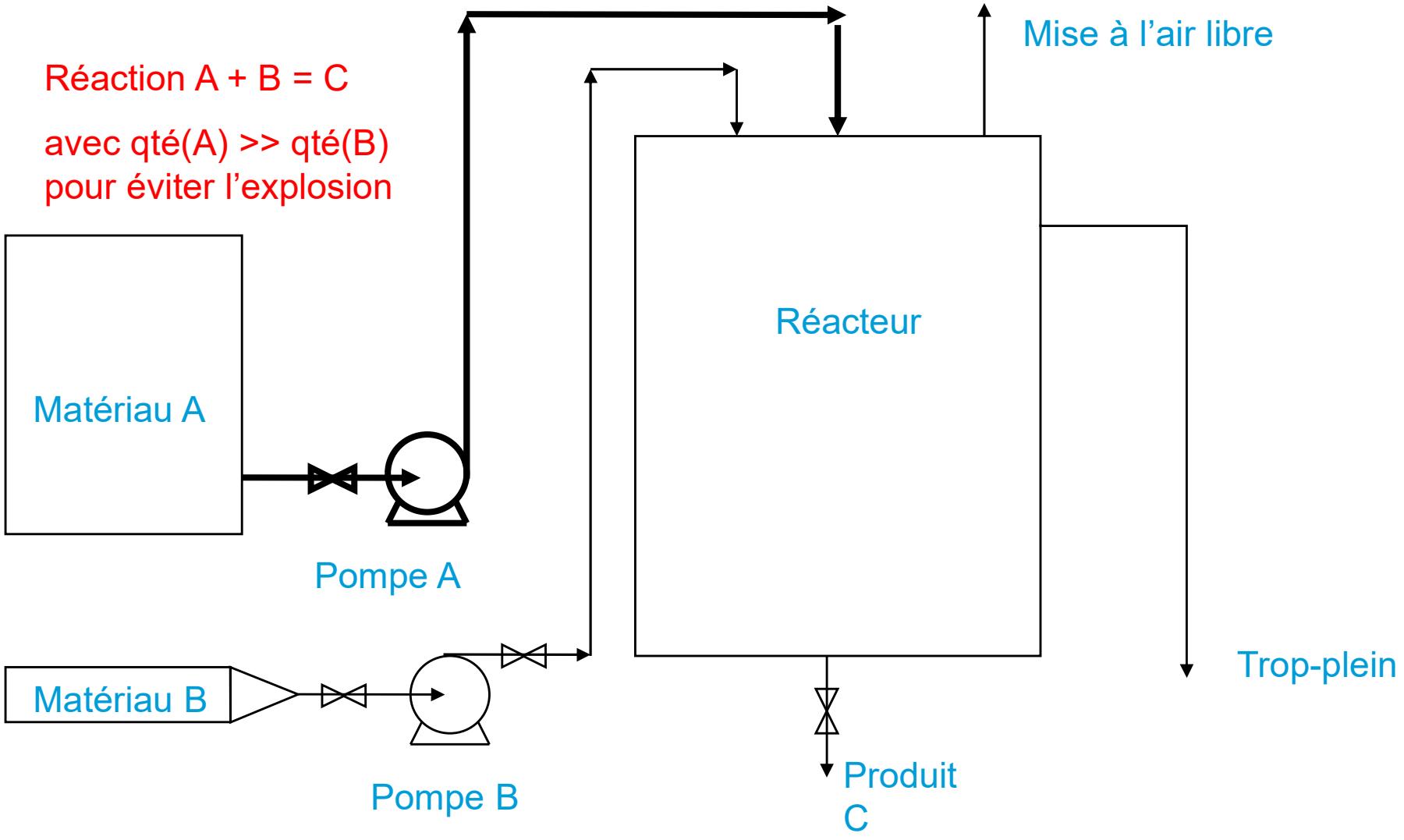
- Expert HAZOP indépendant
- Les experts de l'installation
- Le décideur final des modifications

- 2 à 3 réunions (1/2j) par semaine
- 1h1/2 à 3h par « brique » importante (four, réacteur, colonne à distiller,…)
- Travail complémentaire entre les réunions

Eléments de la norme CEI 61882

Des mots-guides différents mais identiques

Type de déviation	*Mot-Guide*	*Exemples d'interprétation*
Négative	NE PAS FAIRE	Aucune partie de l'intention n'est remplie : PAS D'ECOULEMENT
Modification quantitative	PLUS	Augmentation quantitative : TEMPERATURE PLUS ELEVEE
	MOINS	Diminution quantitative : TEMPERATURE INFERIEURE
Modification qualitative	EN PLUS DE	Présence d'impuretés – Exécution simultanée d'une autre opération/étape
	PARTIE DE	Une partie seulement de l'intention est réalisée
Substitution	INVERSE	S'applique à l'inversion de l'écoulement dans les canalisations ou à l'inversion des réactions chimiques
	AUTRE QUE	Un résultat différent de l'intention originale est obtenu : TRANSFERT DU MAUVAIS PRODUIT
Temps	PLUS TOT	Un événement se produit avant l'heure prévue : REFROIDISSEMENT TROP TOT
	PLUS TARD	Un événement se produit après l'heure prévue : REFROIDISSEMENT TROP TARD
Ordre séquence	AVANT	Un événement se produit trop tôt dans une séquence : AJOUT DE 2 PRODUITS
	APRES	Un événement se produit trop tard dans une séquence : CHAUFFAGE / MELANGE


Réaction A + B = C
avec qté(A) >> qté(B)
pour éviter l'explosion
Mise à l'air libre
Réacteur
Matériau A
Pompe A
Matériau B
Pompe B
Trop-plein
Produit
C

TITRE DE L'ETUDE : EXEMPLE							
COMPOSITION DE L'EQUIPE :			XX XX XX XX				Date : …
PARTIE CONSIDEREE :			Conduit de transfert du réservoir d'approvisionnement A au réacteur				
INTENTION DE CONCEPTION :			Matériau : A Source : réservoir A		Activté : Transférer en continu à un débit supérieur à B Destination : Réacteur		
N°	MOT GUIDE	ELEMENT	DEVIATION	CAUSES	CSQ	PROTECTION	MESURES A PREVOIR
1	NE PAS FAIRE	Matériau A	Absence du MATERIAU A	Réservoir vide	Pas d'écoulement de A dans le réacteur Explosion	-	alarme de niveau bas à prévoir + arrêt pompe B
2	NE PAS FAIRE	Transférer A	Aucun transfert de A n'a lieu	Pompe A arrêtée, conduit obstrué	Explosion	-	Mesure du débit A, alarme sur débit bas et asservissement pompe B
3	PLUS	Matériau A	Plus de matériau A : réservoir trop plein	Surremplissage camion	Débordement du réservoir	-	A étudier lors de l'examen HAZOP du réservoir : niveau haut sur réservoir A
4	PLUS	Transférer A	Excès de transfert Augmentation du débit de A	Dimensionnement pompe ou installation d'une mauvaise pompe	Réduction possible du rendement Produit C trop riche en A	-	Vérifier les débits et caractéristiques de la pompe A lors de la mise en service (procédure)
5	MOINS	Matériau A	Moins de matériau A	Niveau bas dans le réservoir	Flux inadéquat Risque d'explosion	-	Alarme niveau bas réservoir
6	MOINS	Transférer A (à un débit > B)	Diminution du débit A	Conduit partiellement obstrué, fuite, défaut pompe…	Explosion	-	Idem 2
7	EN PLUS DE	Matériau A	Un autre fluide est présent dans le réservoir d'approvisionnement de A	Approvisionnement contaminé	Inconnues	Vérification et analyse du contenu de tous les camions citernes avant déchargement	
8	EN PLUS DE	Transférer A	Corrosion, érosion, cristallisation, décomposition …	Risque à étudier			
…							

A priori applicable à tout type de PROC…

PROCédé, PROCédure, PROCessus

Tableau 2 – Secteurs d'activité où se pratique la méthode HAZOP

Secteurs d'activité	Exemples d'applications
Industrie chimique	Identification des dangers sur des installations continues (méthanol, ammoniac, chlore, carbonate de sodium, pétrochimie...) et discontinues (colorants, peintures, produits pharmaceutiques...) Source : [10]
Industrie pétrolière	Identification des dangers sur un puits lors d'intervention selon des opérations manuelles. Études de scénarios de rejets accidentels de boues et de produits chimiques en mer sur plate-forme. Source : COWI*
Industrie nucléaire	Renouvellement du permis d'exploiter d'une unité de production de radio isotopes dans une centrale nucléaire. Application en conception et en exploitation. Définition d'un programme d'améliorations de l'unité. Source : EACL*-2005
Industrie papetière	Évaluation des risques procédés et produits en papeterie. Source : ACFPC*-2002
Industrie cimentière	Modification du permis d'exploiter pour essai de substitution de combustibles par des résidus liquides dangereux dans une cimenterie. Source : *Environment Agency*
Industrie agroalimentaire	Mesures de prévention et de protection à mettre en place sur des installations mettant en œuvre des produits agroalimentaires. Source : INERIS-2005
Traitement des eaux	Évaluation des risques lors de la construction d'une unité de chloration des eaux pour centrale nucléaire. Source : DOE-1993
Transports terrestres	Sécurité routière : développement d'un système de transport intelligent appelé « *Traffic Hazop* » Source : SWOV*-2002 Sécurité rails : système de protection automatique des trains Source : Norme CEI 61882-2001
Établissements de santé	Processus de prise en charge des patients à l'hôpital dans le cadre du développement d'une culture de prévention et de gestion des risques. Source : DHOS*-Ministère de l'Emploi et la solidarité-2002
Sécurité des personnes	Évacuation de personnes (avion, immeuble, etc.) Source : CNPP*-[14]

* **ACFPC** : Association canadienne des fabricants de produits chimiques.
COWI : Bureau danois d'Ingénieurs-conseils.
CNPP : Centre national de prévention et de protection.
DHOS : Direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins.
DOE : *Department Of Energy des États-Unis.*
EACL : Énergie atomique du canada limitée.
SWOV : Institut néerlandais pour la recherche en sécurité routière.

La SNCF aussi

Réflexions sur la sécurité de l'organisation d'essais ferroviaires à grande vitesse

André-Claude LACOSTE
Jean-Luc WYBO

Avec le soutien d'Astrid PARAKENINGS

Version complète
7 juillet 2016

3.2. Réaliser une étude des déviations

Les études de déviation consistent à se poser des questions sur ce qui pourrait perturber une situation nominale ou un processus et quelles seraient les conséquences de ces perturbations sur le système, notamment en termes de dommages.

On utilise généralement une méthode systématique : l'HAZOP[5]. Le principe est de balayer successivement tous les paramètres qui peuvent avoir une influence sur le système ou le processus en étudiant l'effet de leur variation. Par exemple :

- Déviations sur la tension : plus, moins, pas d'information, erreur sur la valeur ;
- Déviations dans une communication entre deux acteurs : trop tôt, trop tard, erronée, non comprise, absente, multiple.

Cette analyse de déviation s'effectue avant de réaliser une opération ou de lancer un processus, *pour voir si l'opération ou le processus est robuste* et s'il ne l'est pas assez, pour le renforcer ou prendre les mesures conservatoires pour contrôler les déviations potentielles.

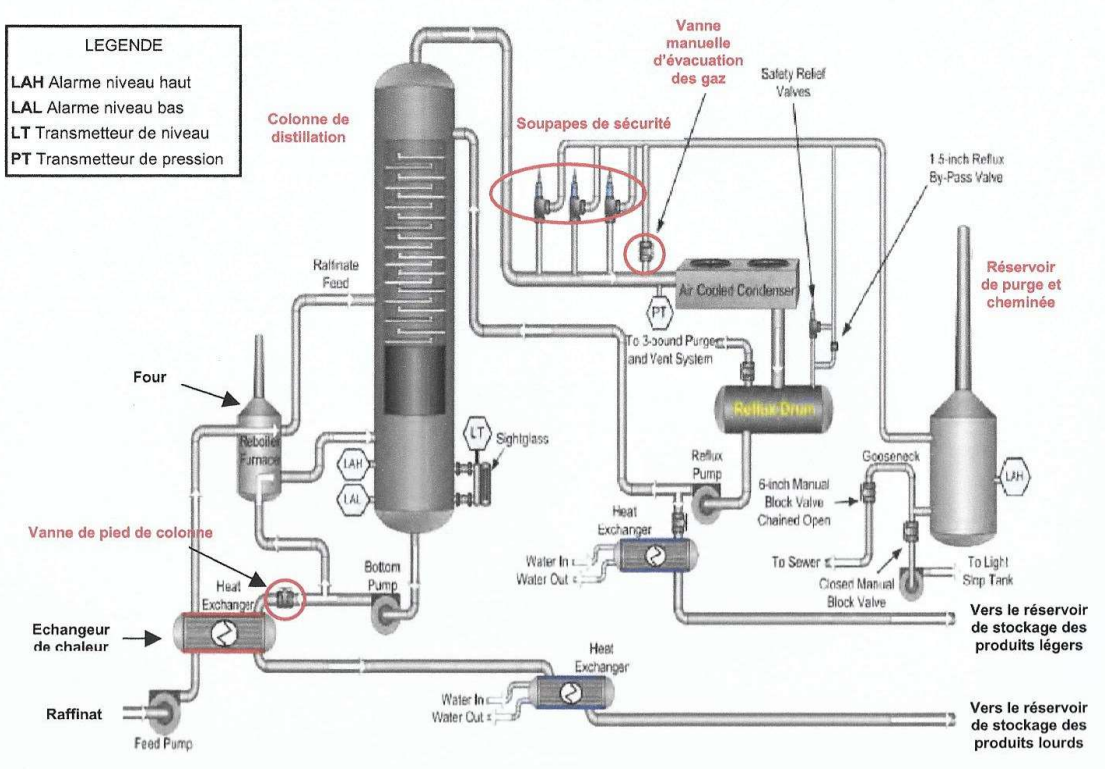
L'analyse des déviations est utilisée pour la *formation des acteurs* (exercer leur vigilance), *pour définir des check-lists de contrôle* et pour *compléter les fiches réflexes*.

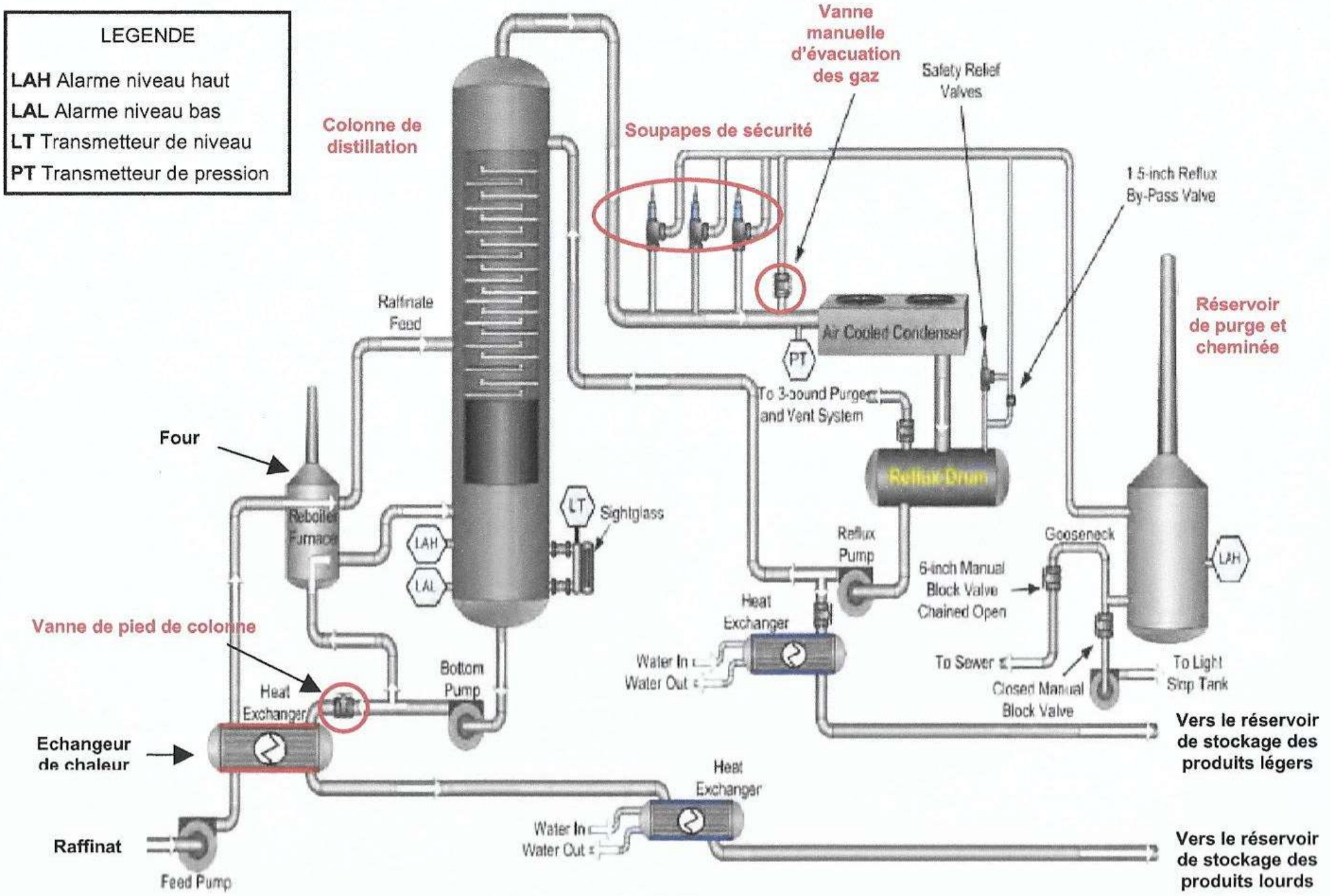
Une étude HAZOP aurait-elle pu aider ?

la catastrophe de BP à Texas City : 23 mars 2005

- 15 morts et 180 blessés
- DD supérieur à 1,5 G$
- RC 1,6 G$
- Amende 21 M$ (50 M$?)

1. Unité d'isomérisation d'HC
2. Economies en moyens et personnel
3. Équipements « moyens »
4. Procédures inadaptées




LEGENDE
LAH Alarme niveau haut
LAL Alarme niveau bas
LT Transmetteur de niveau
PT Transmetteur de pression
Colonne de distillation
Vanne manuelle d'évacuation des gaz
Soupapes de sécurité
Safety Relief Valves
1.5-inch Reflux By-Pass Valve
Réservoir de purge et cheminée
Raffinate Feed
Air Cooled Condenser
PT
To 3-pound Purge and Vent System
Four
Reboiler Furnace
LT
Sightglass
LAH
LAL
Reflux Drum
Reflux Pump
Gooseneck
6-inch Manual Block Valve Chained Open
Heat Exchanger
Water In
Water Out
To Sewer
To Light Slop Tank
Closed Manual Block Valve
Vanne de pied de colonne
Bottom Pump
Heat Exchanger
Echangeur de chaleur
Vers le réservoir de stockage des produits légers
Heat Exchanger
Water In
Water Out
Raffinat
Feed Pump
Vers le réservoir de stockage des produits lourds

Chronologie

Après 2 semaines d'arrêt (changement catalyseur tous les 10 ans)

2h15 Mise en charge (objectif 2 m, limite 3 m)

3h30 arrêt (niveau 4 m)

5h l'opérateur responsable part (1h plus tôt) Consignes orales sommaires

6h Arrivée opérateur de jour transmission des consignes limitée

7h15 arrivée du superviseur (avec 1h de retard)

9h50 mise en circulation et reprise de l'ajout de produit

10h allumage du four

10h45 superviseur part pour urgence familiale

12h40 alarme pression haute, défaut valve de sécurité, l'opérateur ouvre vanne manuelle

http://safetyacademy.icsi-eu.org/idea/details.aspx?i=2679

Chronologie (suite)

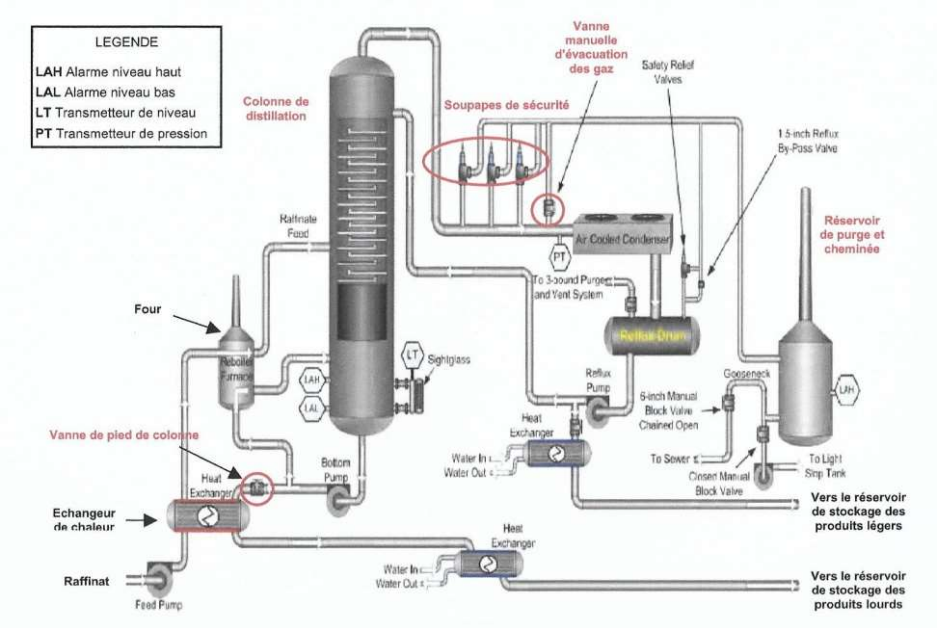
13h Ouverture vanne de pied de colonne => montée température

13h05 ébullition => montée de niveau

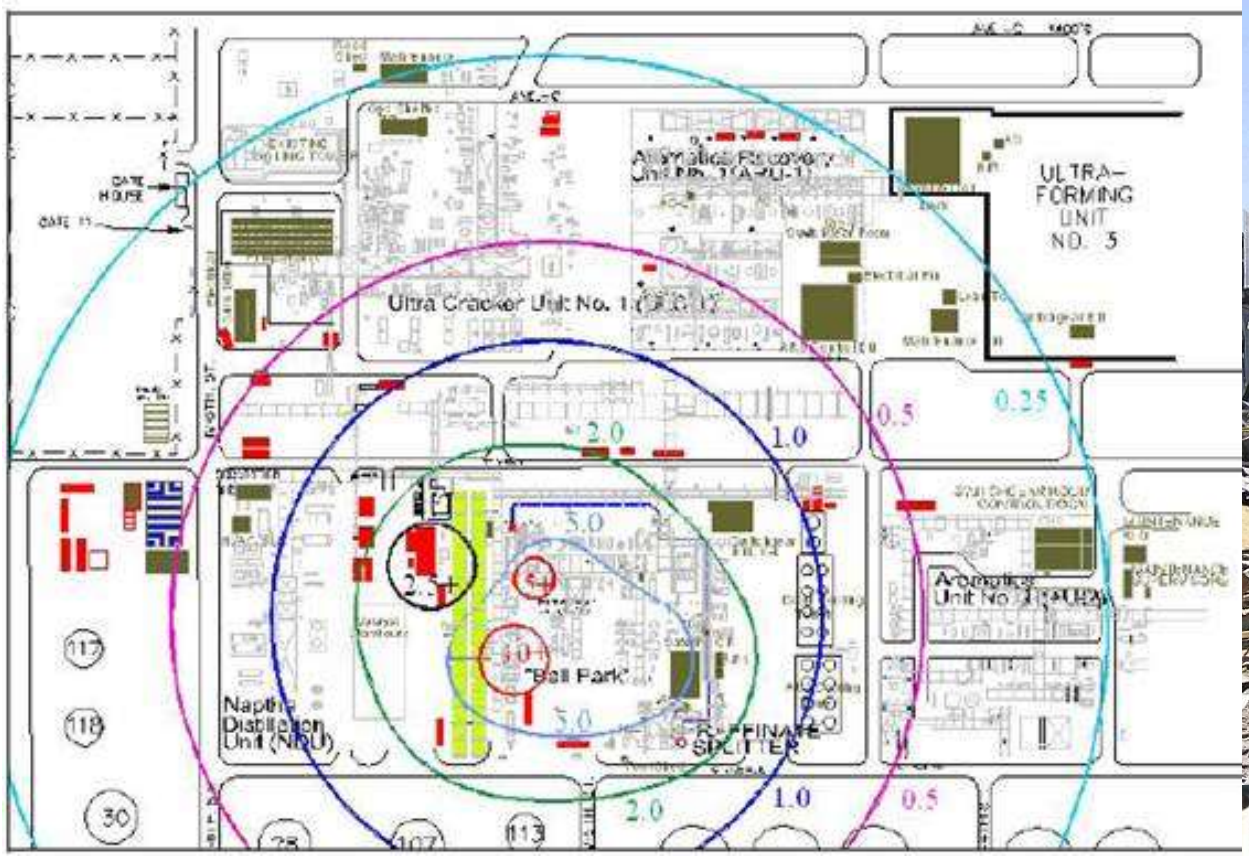
13h10 débordement accumulation derrière soupapes

13h14 rejet

13h20 inflammation par camionnette (à 8 m)



Explosion (UVCE) suivie d’un incendie éteint au bout de 3 heures

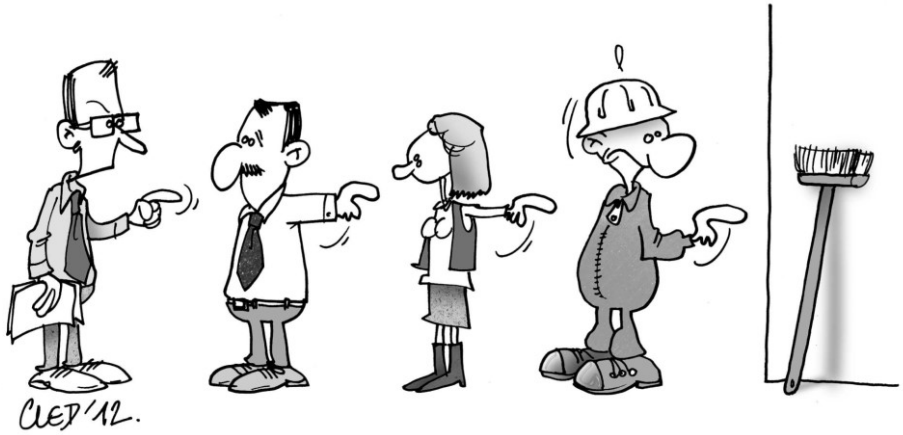

ULTRA-
FORMING
UNIT
NO. 5
Ultra Cracker Unit No. 1
Ball Park
Naphtha
Distillation
Unit (NDU)
2.0
1.0
0.5
0.25
5.0

Causes

- Problèmes des **capteurs** et de leurs interprétations
- Pas d'équipe dédiée au **redémarrage**
- Surcharge de travail des opérateurs (12h x 29j)
- Mauvais passages de **consignes**
- Formation lacunaire
- Démarrage anticipé
- Erreurs de **conception** du circuit de purge (& non prise en compte d'accidents antérieurs)
- Bâtiments de chantier trop proche
- Personnel non nécessaire trop proche

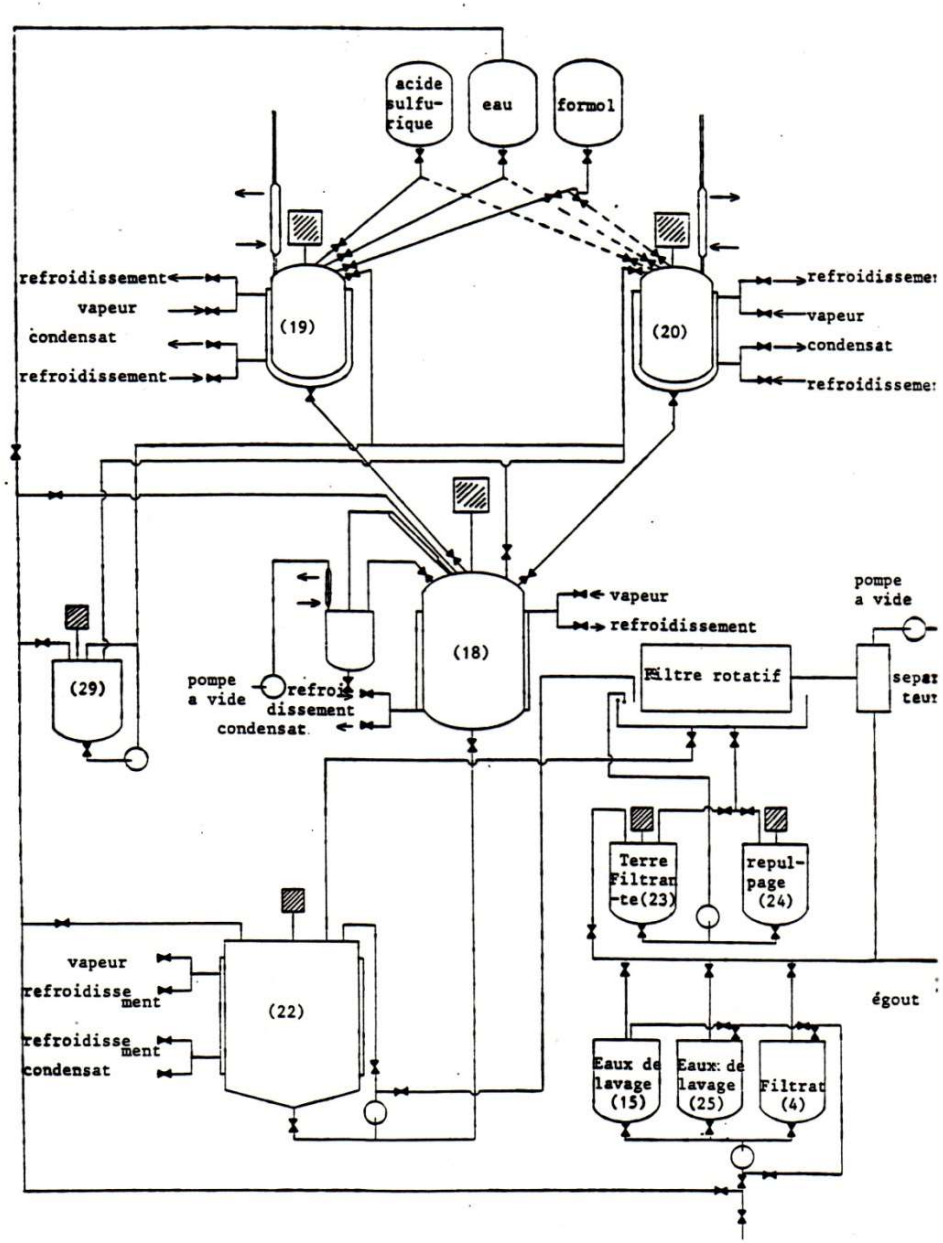
Causes profondes

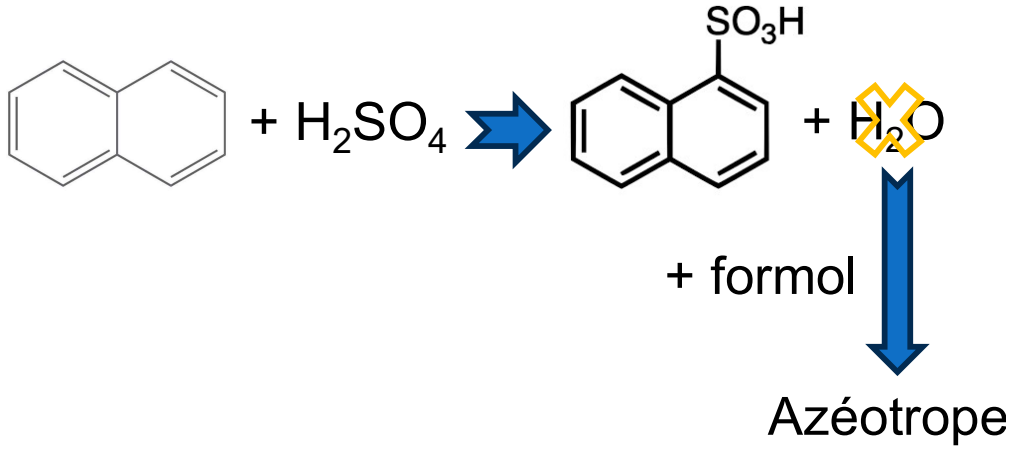
1. Chasse aux coûts, pression économique
2. Pas de sécurité industrielle (seulement accident travail)
3. Défaut de maintenance
4. Pas de culture de sécurité, pas de remontée d'information



Exemples d'études HAZOP

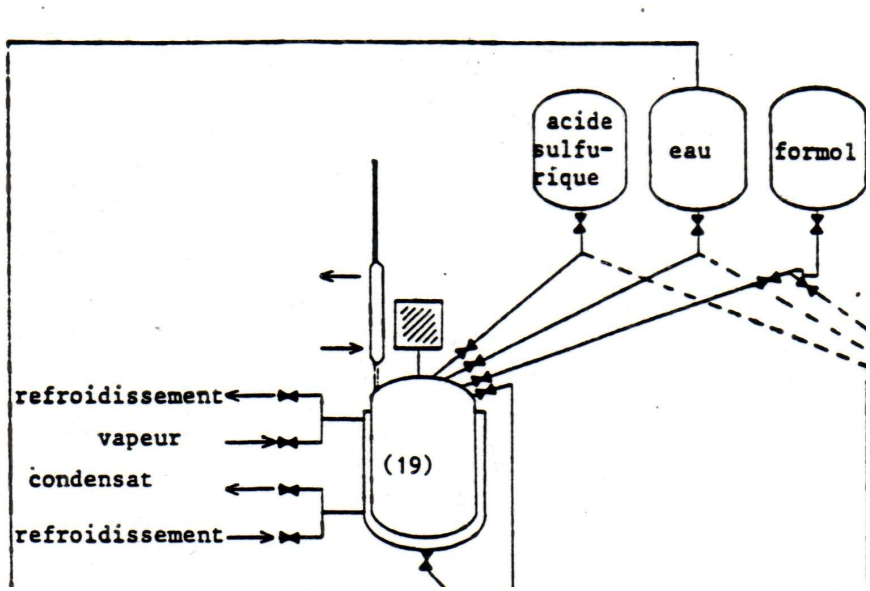
Cas 1 : sulfonation de naphtalène





1. Chargement du naphtalène
2. Fusion du naphtalène
3. Sulfonation par addition H_2SO_4
4. Addition de formol
5. Condensation du produit
6. Neutralisation par solution de chaux
7. Filtration du produit

Cas 1 : sulfonation de naphtalène



HAZOP =>Trop de débit de formol

- *Cause* : erreur de l'opérateur
- *Conséquence* : emballement de la réaction
- *Détection* : par l'opérateur ?
- *Actions correctives* : Stopper l'ajout de formol et augmenter refroidissement ?
- **Toute l'étude a conclu à une augmentation de l'instrumentation**

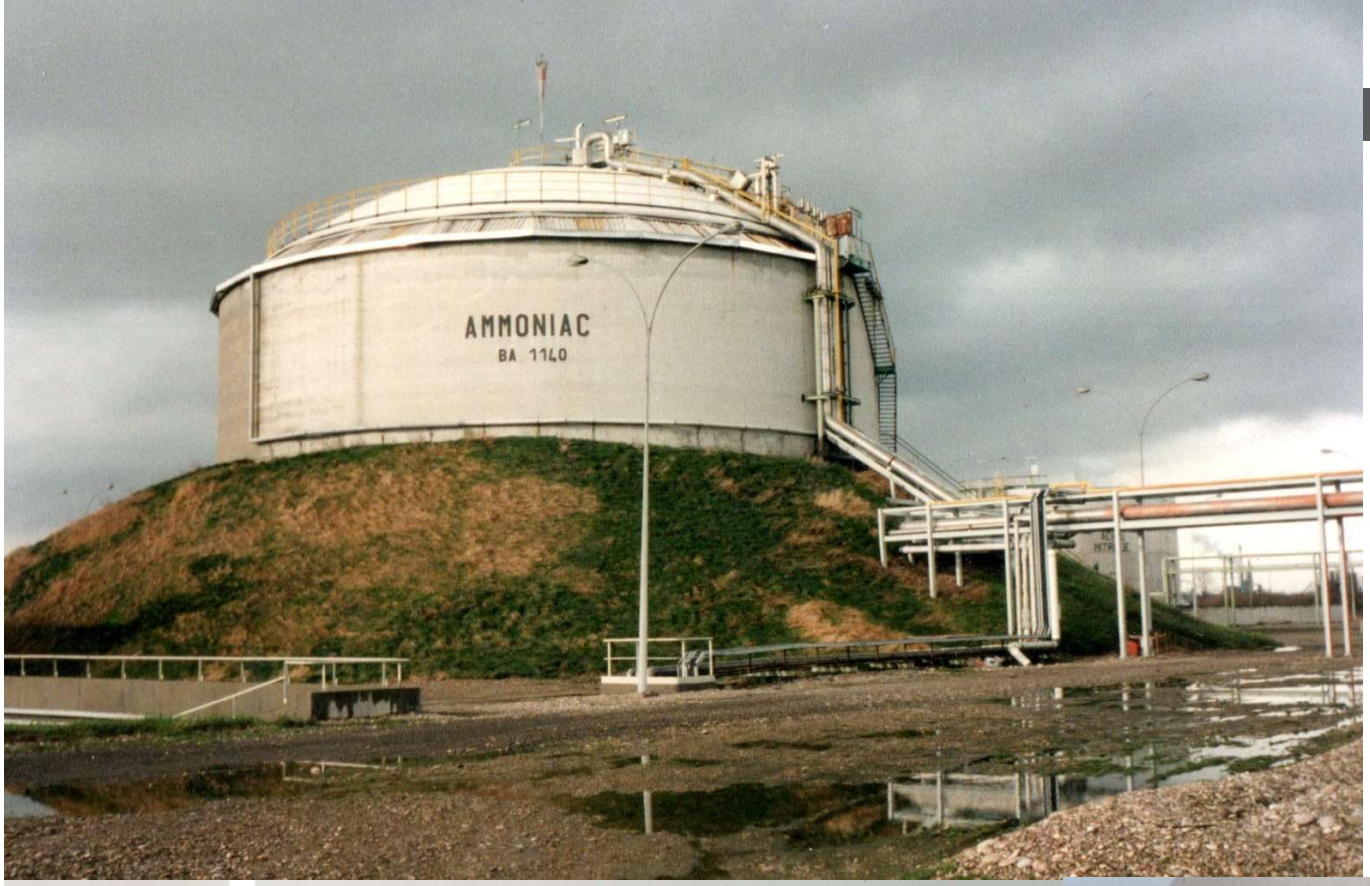
Exemples d'études HAZOP

Façon « poupées russes »

Stockage d'ammoniac (SEVESO)

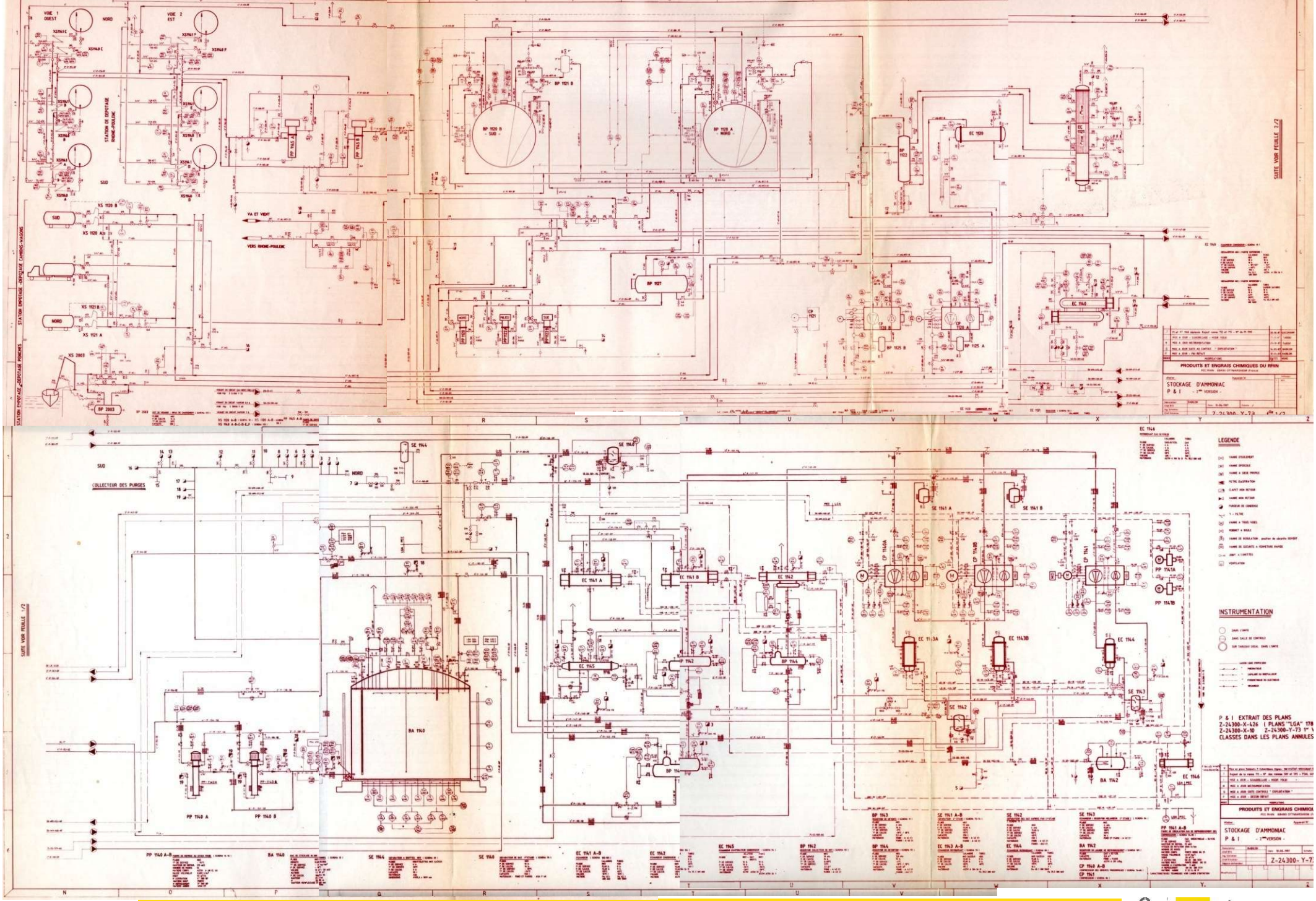
Cas 2 : Installation de stockage NH_3

Sphère de stockage NH3 liquide sous pression et ses racks


AMMONIAC
BA 1140

L'AMMONIAC
AGRICOLE

23 RIV
87 SNCF
268
1005



P&I des stockages d'ammoniac sous pression et cryogénique

Préparation de l'étude

- Renumérotation de tous les équipements (dont 720 vannes)
- Mise à jour des PID
- Reformalisation des consignes
- Rédaction des descriptifs
  - Installations
  - Produits
  - Réactions dangereuses

Organisation

- 9 personnes ont participé
  - 4 exploitants
  - 2 mécaniciens
  - 1 instrumentiste
  - Le responsable de l'Etude des Dangers
  - L'expert HAZOP

  + quelques interventions (électricien, exploitant de l'atelier ammoniac, …)

Mise en œuvre

Sélection des équipements « significatifs »

Mots guides utilisés :

- TROP DE
- PAS DE
- MOINS DE
- Inversion de sens

Paramètres étudiés :

- NIVEAU
- PRESSION
- TEMPERATURE
- DEBIT
- IMPURETES

Déroulement

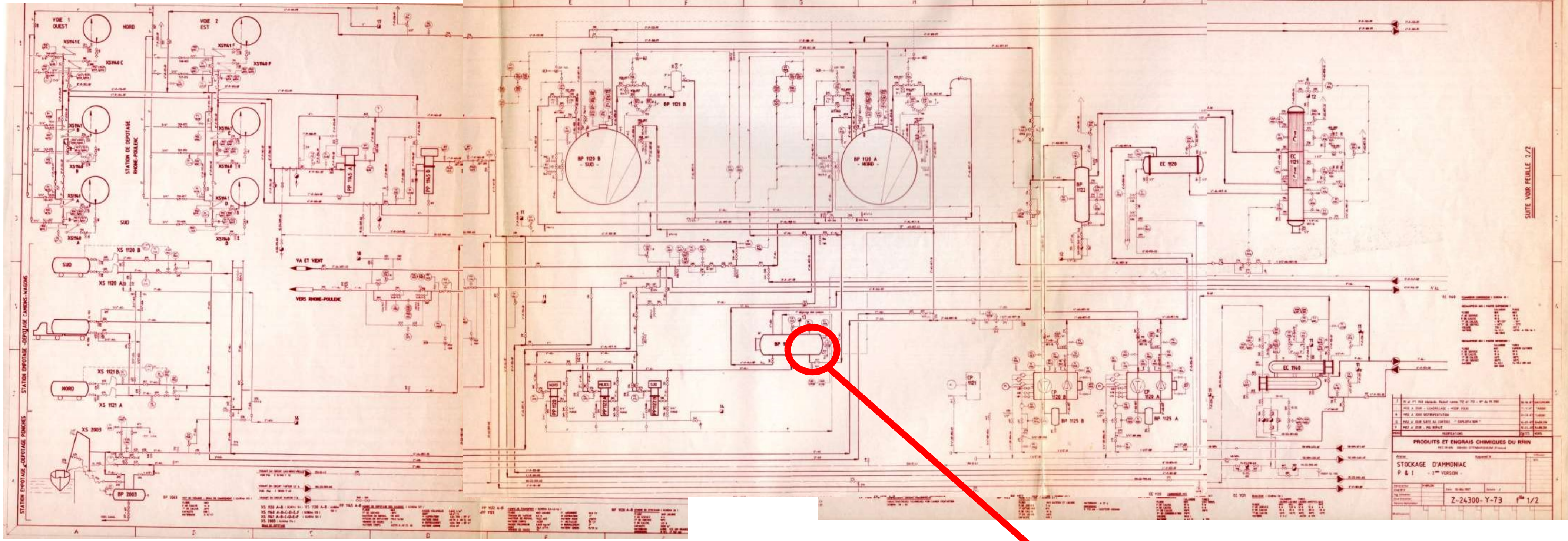
- 20 réunions HAZOP (1/2 j) sur 10 semaines

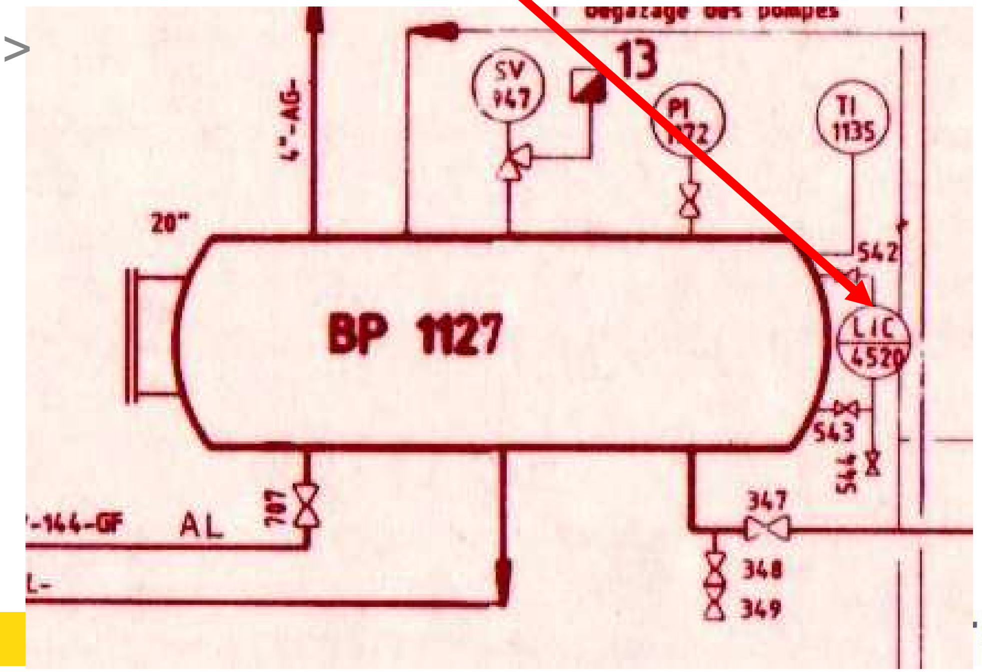
  + travaux de recherche d'informations complémentaires

- Au final : Préparation + HAZOP + Arbres de défaillance + rédaction = **2 h.an**

Résultats

- Environ 50 recommandations de modifications
- Principales remarques :
  - Modification d'Arrêts d'urgence
  - Pb détection erreur de fournitures produits
  - Possibilité de P > Pression de calcul
  - Ambigüité d'info en salle de contrôle
  - Cumul pour des capteurs de fonction sécurité & exploitation





Défaillance du détecteur de niveau bas =>

- arrêt pompes aval
- débordement
- liquide dans circuit gaz
- déclenchement compresseurs
- Arrêt total de l'installation
- Difficulté de diagnostic

Conclusions

Avantages-limites-…

Avantages : un outil « bien taillé »

- La méthode HAZOP est dédiée à l'industrie du procédé mais peut être exploitée ailleurs
- Un outil :
  - **Puissant** d'aide à la conception « sûre » (au sens fiabilité)
  - **Utile** pour mettre en évidence des événements redoutés
    => intro à d'autres méthodes
- Méthode participative

  ⇒Appropriation des résultats

  ⇒Facilite le suivi de la mise en œuvre des recommandations

Mais …

Avantages : efficace dans son registre

Etudes de circuits de déchargement de SO_2 & NH_3

- HAZOP
  - ~ 75% de ce qui est trouvé par différentes méthodes.
  - Idem pour ce qui est trouvé par Rex
  - Ses **limites** :
    - Défaillances de composants
    - Erreurs humaines
    - Agressions extérieures

HAZiD
THERP
AMDEC

Besoin d'associer des méthodes complémentaires

Inconvénients : défauts de réalisation

Retour d'expérience lors :

- Observations des activités lors de la réalisation d'une étude des dangers sur un site chimique
- Refonte d'une installation de dépotage d'acide fluorhydrique
- Etude en particulier d'un groupe HAZOP

Constats (1):

- une implication insuffisante des futurs exploitants (disponibilité limitée, non participation à de nombreuses décisions,…)
- l'utilisation de supports au travail de conception qui desservent l'anticipation de la future organisation (ex : absence de vision dans l'espace, de l'encombrement,…)
- les modes de contrôle de la DREAL (beaucoup trop formel)

Inconvénients : défauts de réalisation

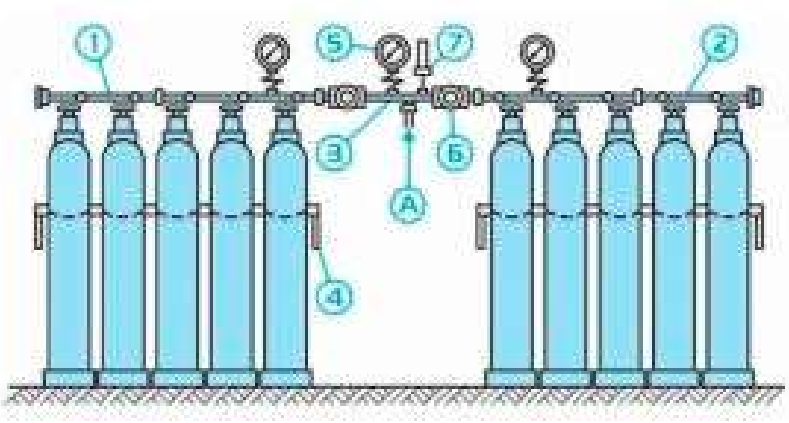
Retour d'expérience lors :

- Observations des activités lors de la réalisation d'une étude des dangers sur un site chimique
- Refonte d'une installation de dépotage d'acide fluorhydrique
- Etude en particulier d'un groupe HAZOP

Constats (2):

- un problème de temporalité et de biais de récence : les participants surévaluent des phénomènes récemment observés ou découvert dans la littérature (REX).
- Idem pour les solutions proposées.
- Une approche trop subjective, très marqués par l'expérience professionnelle
- Les moins expérimentés reconduisent les solutions déjà connues et pratiquées

Inconvénients : le facteur humain



Incident du 10/05/2010 à Pierrelatte
Poste de chargement de bouteilles
Fluor (10 ou 20%) Azote (90 ou 80%)

- Azote risque d'anoxie
- Fluor gaz toxique

Les bouteilles sont à 50 bars, le chargement doit les amener à 105 bars

- Procédure normale : chargement de 2 cadres (A & B) à 90 bars, puis poursuite sur A seulement jusqu'à 105 bars puis basculement automatique sur B jusqu'à 105 bars également.
- Procédure adaptée : L'opérateur intervient pour remplacer les bouteilles de A dès le basculement . Lorsque le cadre B à son tour à 105 bars, basculement sur A alors que le remplacement n'est pas achevé => rejet de gaz, 3 salariés légèrement intoxiqués.

Changement de procédures non pris en compte dans l'HAZOP

Récapitulatif

- Outil efficace pour détecter les défauts de pilotage et identifier des accidents potentiels MAIS
- L'analyse de l'erreur humaine reste très partielle
- Pas de combinaison d'événements
- L'aspect « procédure » reste très formel, pour ne pas dire théorique
- L'animateur doit savoir gérer la réunion (ne pas laisser dériver mais laisser de la liberté => idées nouvelles, analogies, recueil d'expérience)
- Reprendre l'étude après toute modification (au moins avec les personnes les plus concernées, dont les opérateurs !)
- Ne pas hésiter à compléter avec d'autres méthodes

La méthode WHAT IF

Méthode voisine de l'HAZOP

Objectif et intérêt de la méthode

- Identifier des risques qui seraient passés inaperçus au long des études de sécurité accompagnant le projet
- Simple à mettre en œuvre
- Eclairage neuf par des **personnes d'expérience** extérieures au projet
- Travail de groupe stimulant (groupe similaire à HAZOP + experts extérieurs au projet)
- Limitation du fait de l'absence de systématisme

Questions typiques abordées

- **Manque d'utilités**

  Que se passe t-il si on n'a pas d'air d'instrumentation, d'électricité, d'azote, d'eau, de vapeur,…?
- **Changement de composition**

  Que se passe t-il si la qualité des matières change ?

  Que se passe t-il si certaines impuretés sont introduites ?
- **Conditions opératoires inhabituelles**

  Que se passe t-il s'il y a un dépassement des conditions opératoires normales (T, P, Q, pH,…) ?
- **Défaillance de matériel**

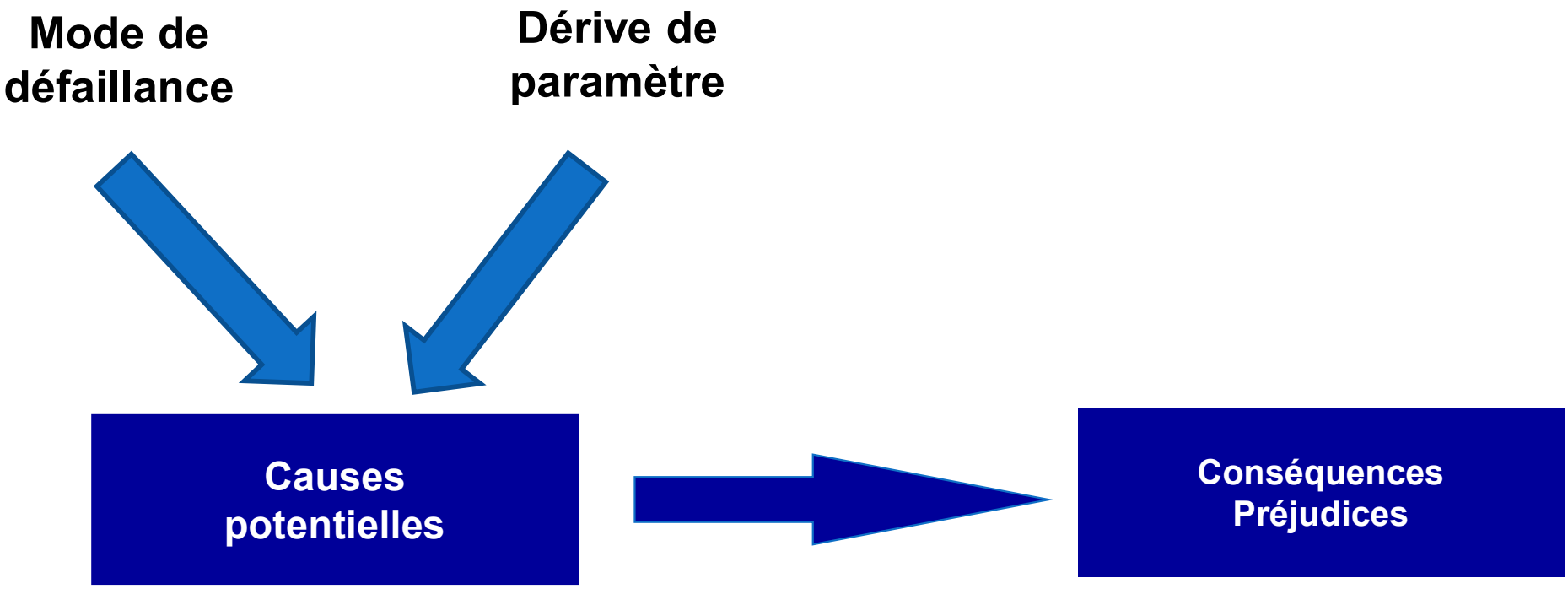
  Que se passe t-il si des instruments ou des analyseurs tombent en panne ?

  Que se passe t-il si des produits fuient dans l'atmosphère ?

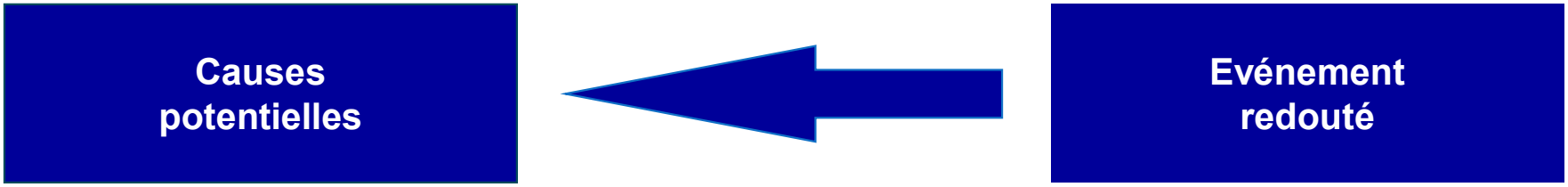
  Que se passe t-il si certaines vannes ne fonctionnent pas correctement?
- **Non respect des consignes d'exploitation**

  Que se passe t-il si certaines consignes ne sont pas observées ?

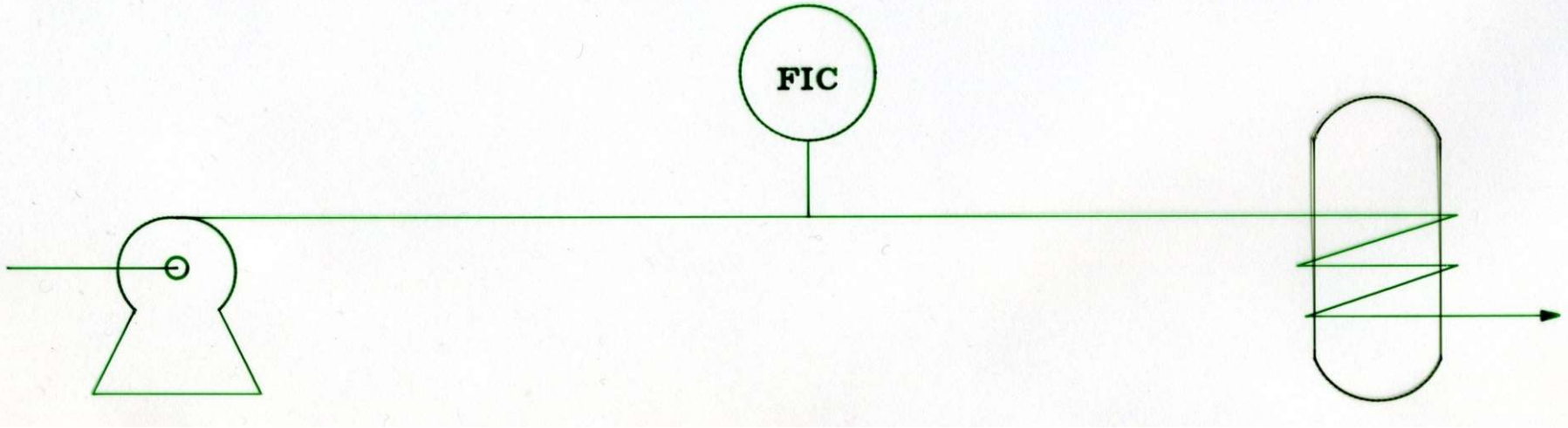
Dernières remarques



Méthodes inductives : AMDEC, HAZOP, What if?



Méthodes déductives : arbre de défaillance

Un pb de sécurité => une méthode ?

CAUSE INITIALE	SYMPTOME	CONSEQUENCE FINALE
AMDE	HAZOP	ARBRE DE DEFAILLANCE
DEFAILLANCE D'UN COMPOSANT	DERIVE D'UN PARAMETRE	EVENEMENT REDOUTE
ARRET INTEMPESTIF DE LA POMPE	PAS DE DEBIT D'EAU	EMBALLEMENT DE LA REACTION (EXPLOSION)