

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

Maitrise des Risques

Cours 8 : la méthode HAZOP

UV TS01

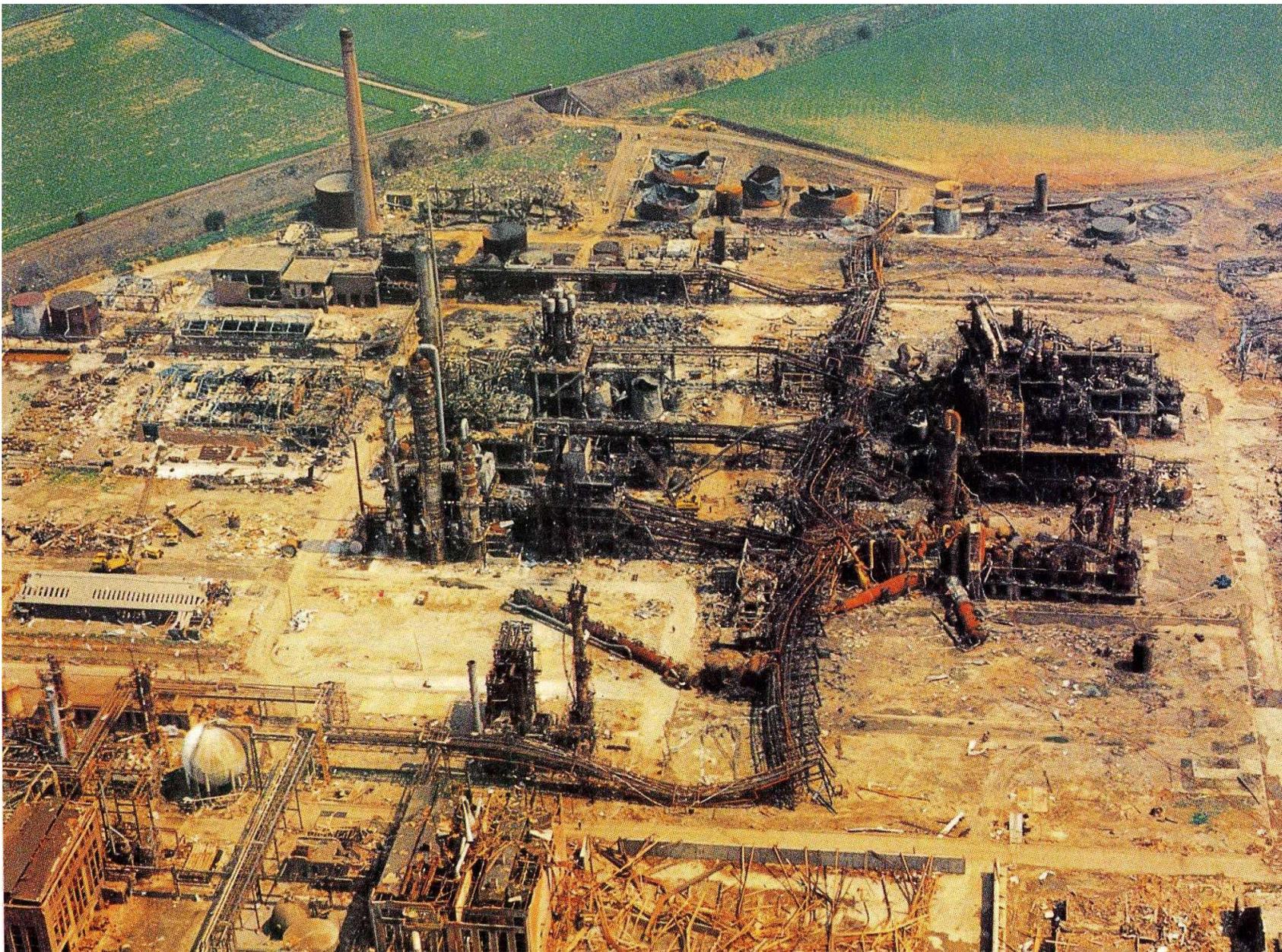
Resp : christophe.proust@utc.fr

donnons un sens à l'innovation



La catastrophe de Flixborough

1^{er} juin 1974



Explosion d'un nuage de 40 à 50 tonnes de cyclohexane
Soit environ 20 tonnes d'équivalent TNT

Contexte

L'usine synthétise un intermédiaire du Nylon à partir de cyclohexane

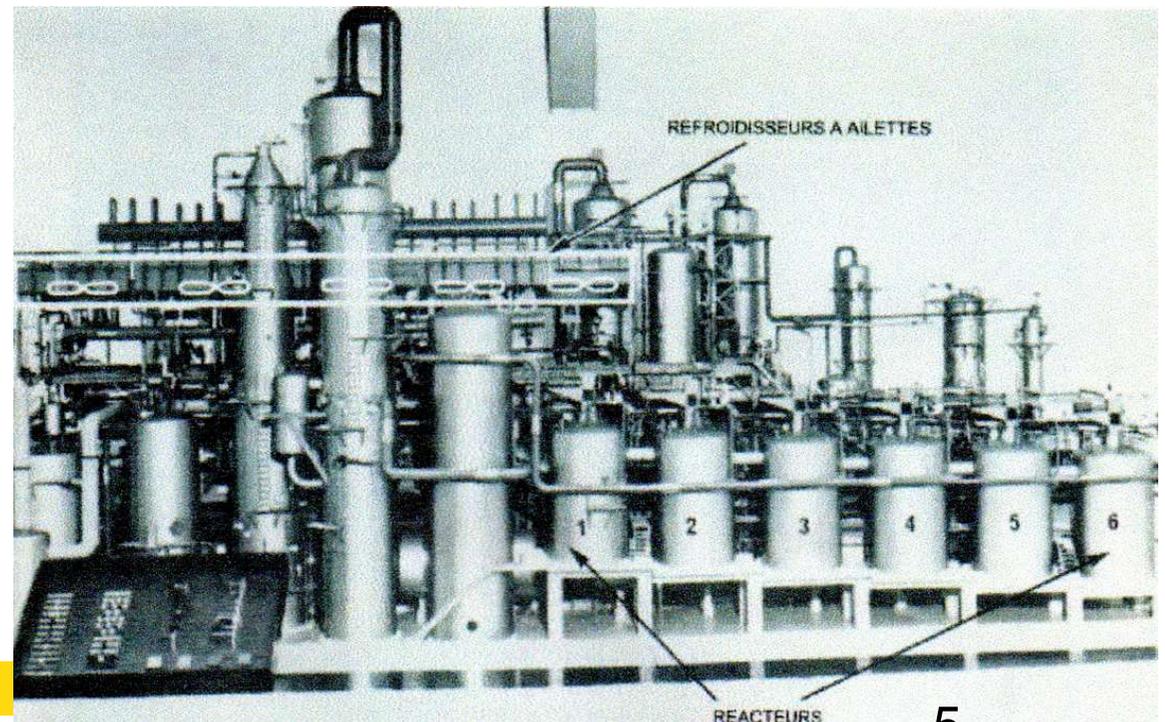
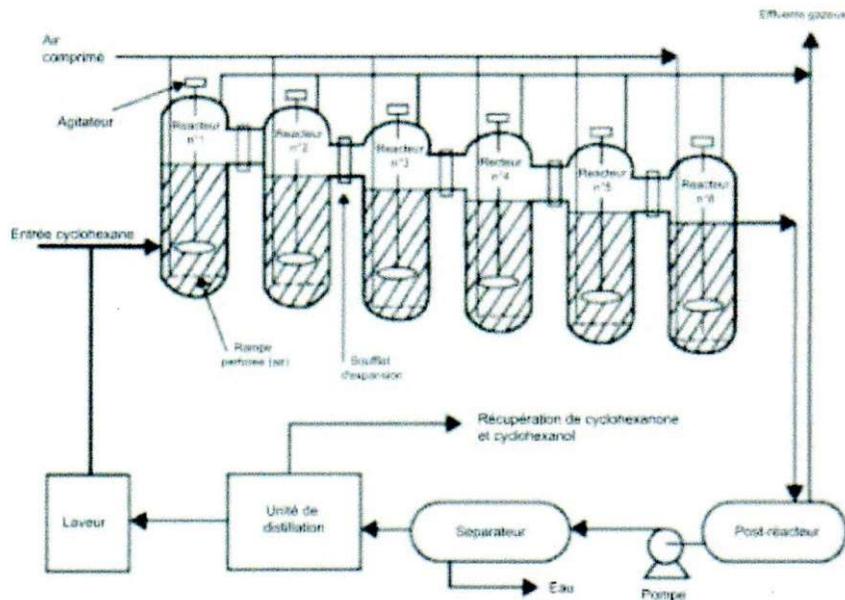
Implantée dans une commune rurale à 260 km au Nord de Londres



L'installation concernée : unité d'oxydation du cyclohexane par l'air

L'installation

- une cascade de 6 réacteurs de 45 m³ chacun
- relié par une conduite de 28''
- réaction en présence de catalyseur à 155°C et 8,8 bar
- débit de circulation 250 à 300 m³/h



Les 6 mois avant l'explosion

En début d'année, départ de l'ingénieur d'entretien, non remplacé

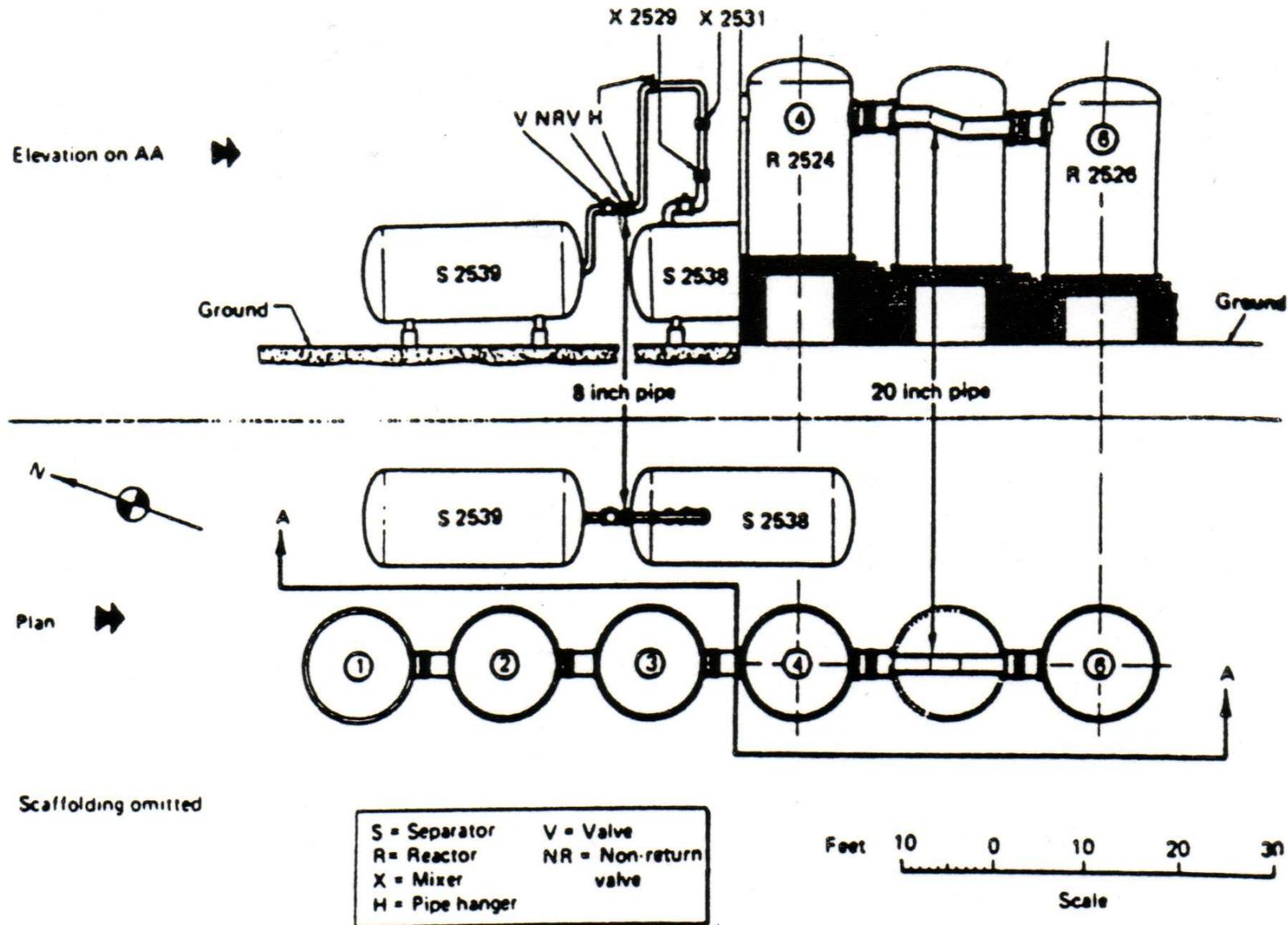
Fonction confiée provisoirement à un technicien (spécialité électricité)

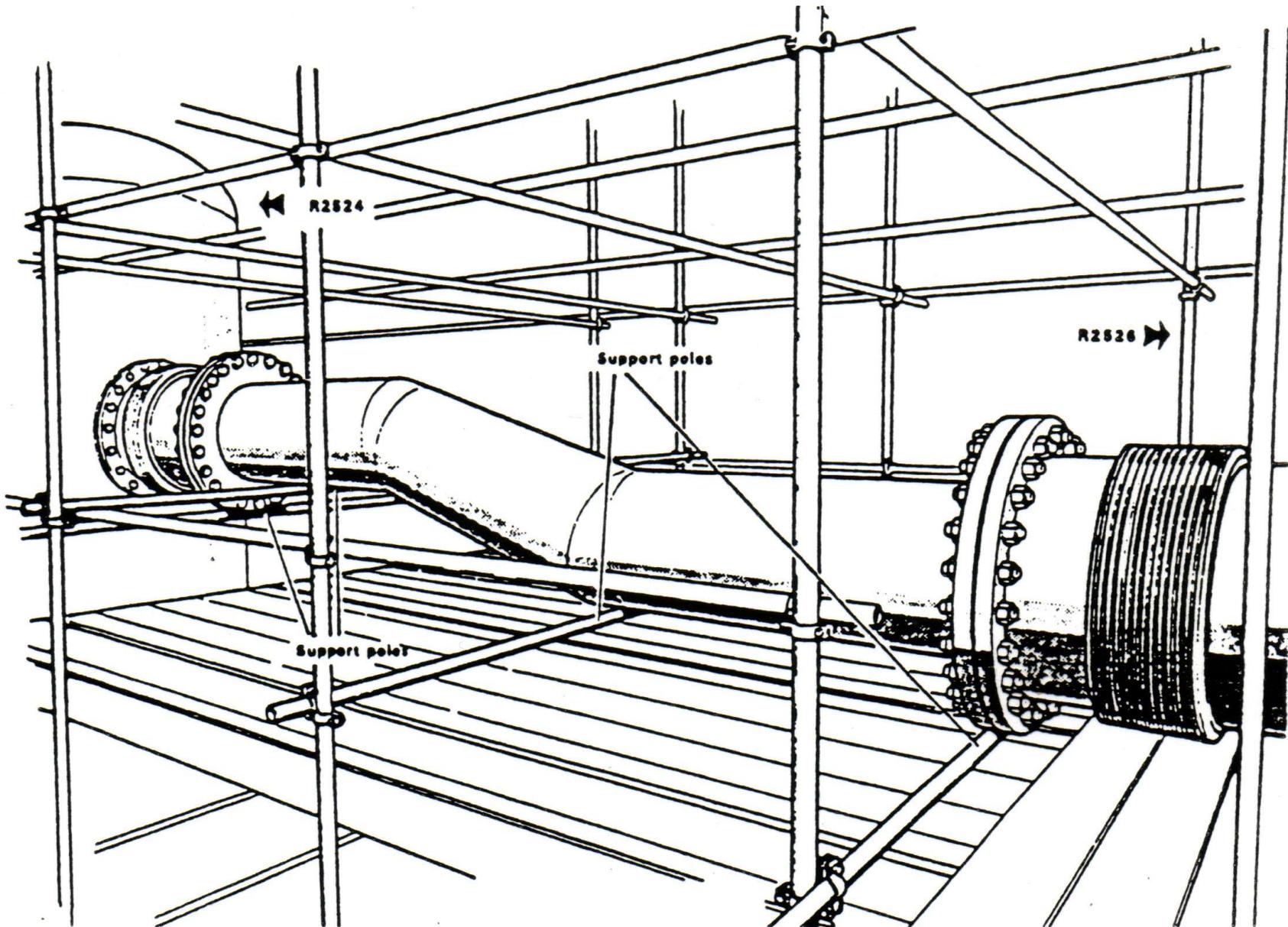
Le 27 mars découverte d'une fuite sur réacteur n°5

Le 28 mars décision de retirer le réacteur et d'installer un by-pass

By-pass réalisé avec du tube de D= 20'' (le seul disponible) et non 28''

Les modifications de l'installation





La séquence accidentelle

Entre le 1^{er} avril et le 29 mai, le bricolage tient

29 mai : découverte d'une fuite => arrêt de l'installation

Samedi 1^{er} juin : redémarrage de l'installation

- à 4 h nouvelles fuites => arrêt
- à 5 h redémarrage (fuites résorbées d'elles mêmes !)
- Nouvelle fuite => nouvel arrêt
(outillage spécifique non disponible)
- à 7 h redémarrage
 - augmentation de la pression et de la température
 - défaut d'azote

La séquence accidentelle

16 h 53 : rupture de la conduite de 20''

Rejet d'environ 50 tonnes de cyclohexane
~ 30' allumage du nuage

Explosion équivalente à 20 tonnes de TNT :

- 28 morts et 90 blessés
- Bâtiments détruits sur 600 m
- 90% des bâtiments endommagés sur 3,5 km
- Bris de vitres dans un rayon de 13 km

Incendie pendant 2,5 jours



FILXBOROUGH, 01.06.1974,
UK

Quelques enseignements

Les britanniques vont se lancer dans des études de risques et largement inspirer la Directive SEVESO (1982)

Le programme électronucléaire français est lancé en 1974 obligation de prendre en compte le risque industriel

Séquence pré accidentelle souvent observée => **alerte**





La catastrophe BP Texas City

23 mars 2005



15 morts et 180 blessés

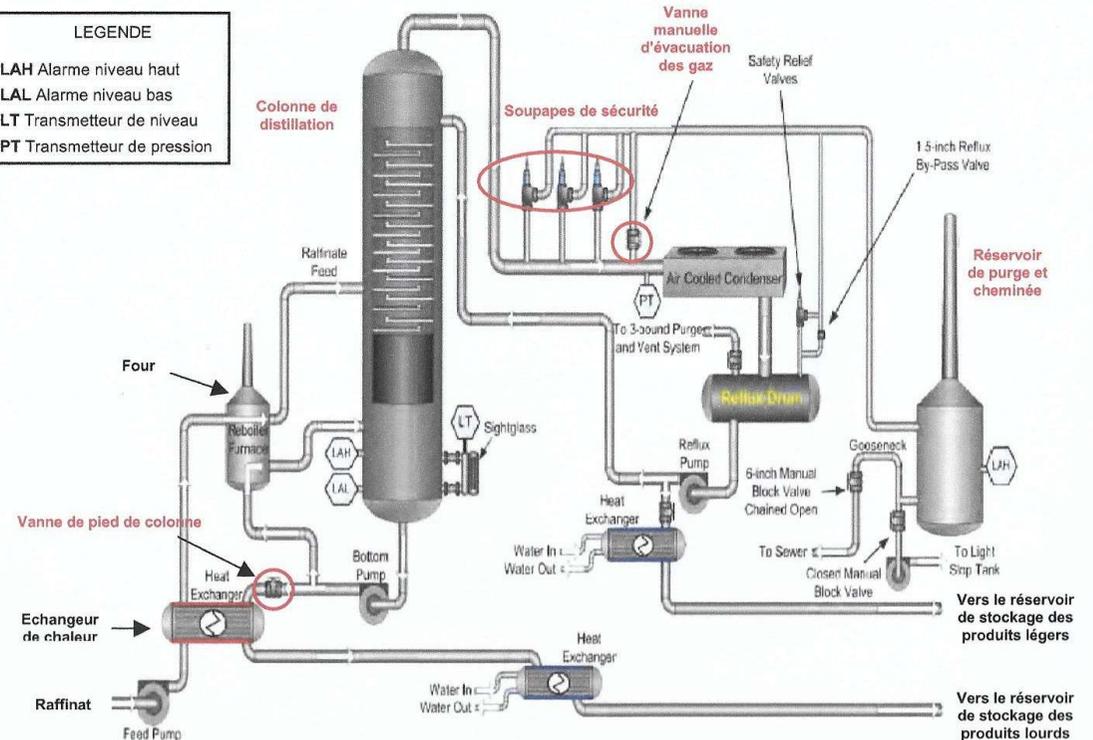
DD supérieur à 1,5 G\$

RC 1,6 G\$

Amende 21 M\$ (50 M\$?)

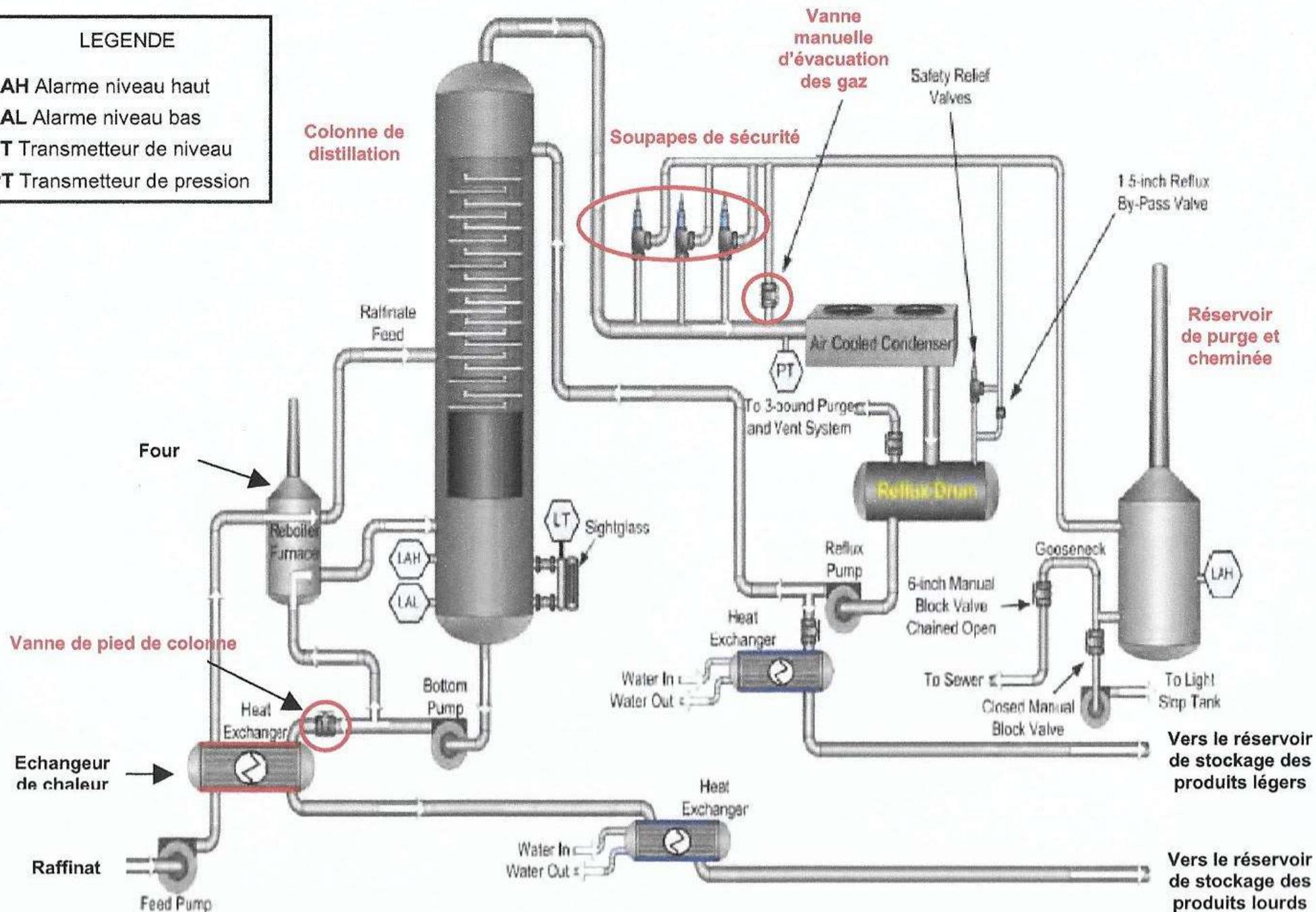
1. Nombreuses mises en garde
2. Economies en moyens et personnel
3. Indicateurs AT vs RI
4. Procédures inadaptées

LEGENDE
 LAH Alarme niveau haut
 LAL Alarme niveau bas
 LT Transmetteur de niveau
 PT Transmetteur de pression



LEGENDE

- LAH Alarme niveau haut
- LAL Alarme niveau bas
- LT Transmetteur de niveau
- PT Transmetteur de pression



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

Chronologie (suite)

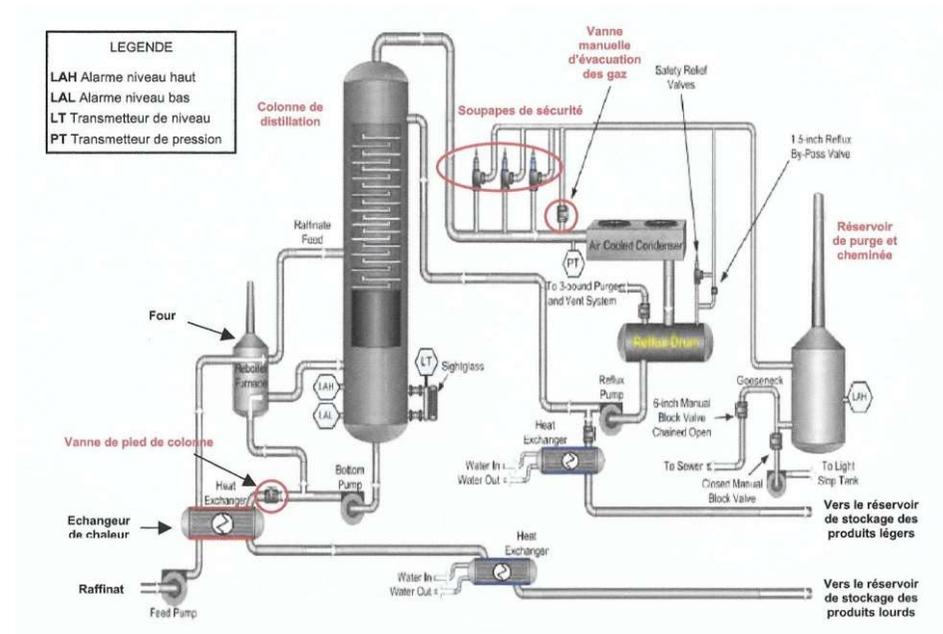
13h Ouverture vanne de pied de colonne => montée température

13h05 ébullition => montée de niveau

13h10 débordement accumulation derrière soupapes

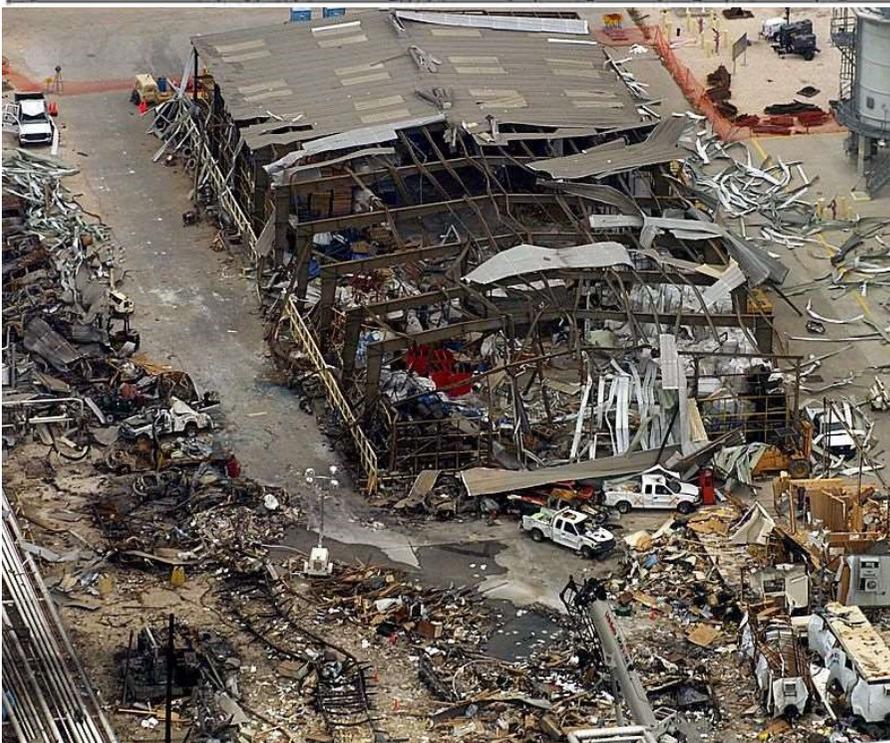
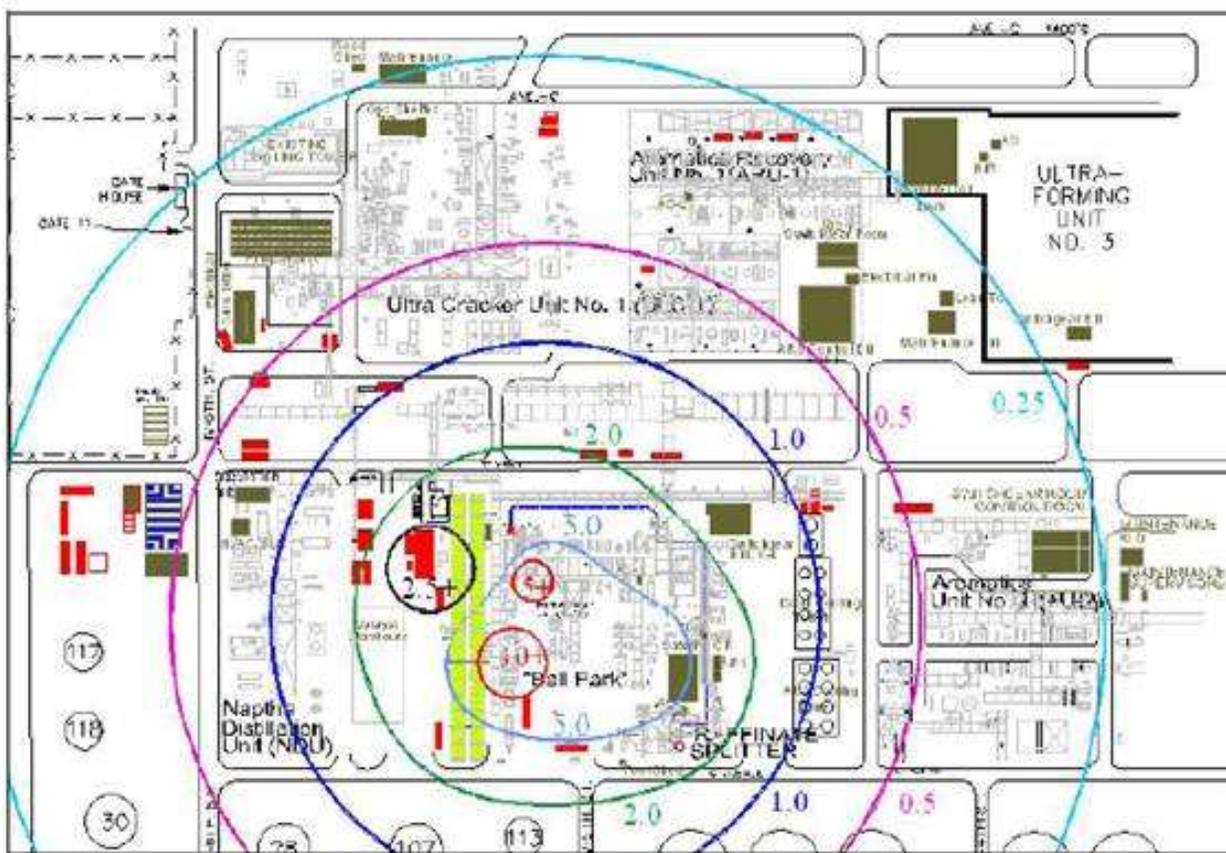
13h14 rejet

13h20 inflammation par camionnette (à 8 m)





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



Conséquences

15 morts (sous traitants)

180 blessés (70 salariés BP
et 110 sous traitants)

43.000 habitants confinés
pendant 1 heure

Des habitations
endommagées dans un
rayon de 1,2 km

Pertes financières 1,5 G\$

Responsabilité civile 1,6 G\$

Amende 21 M\$ (+ 50 M\$)

Changement de direction &
d'organisation

1 G\$ d'investissements pour
moderniser et améliorer la
sécurité

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

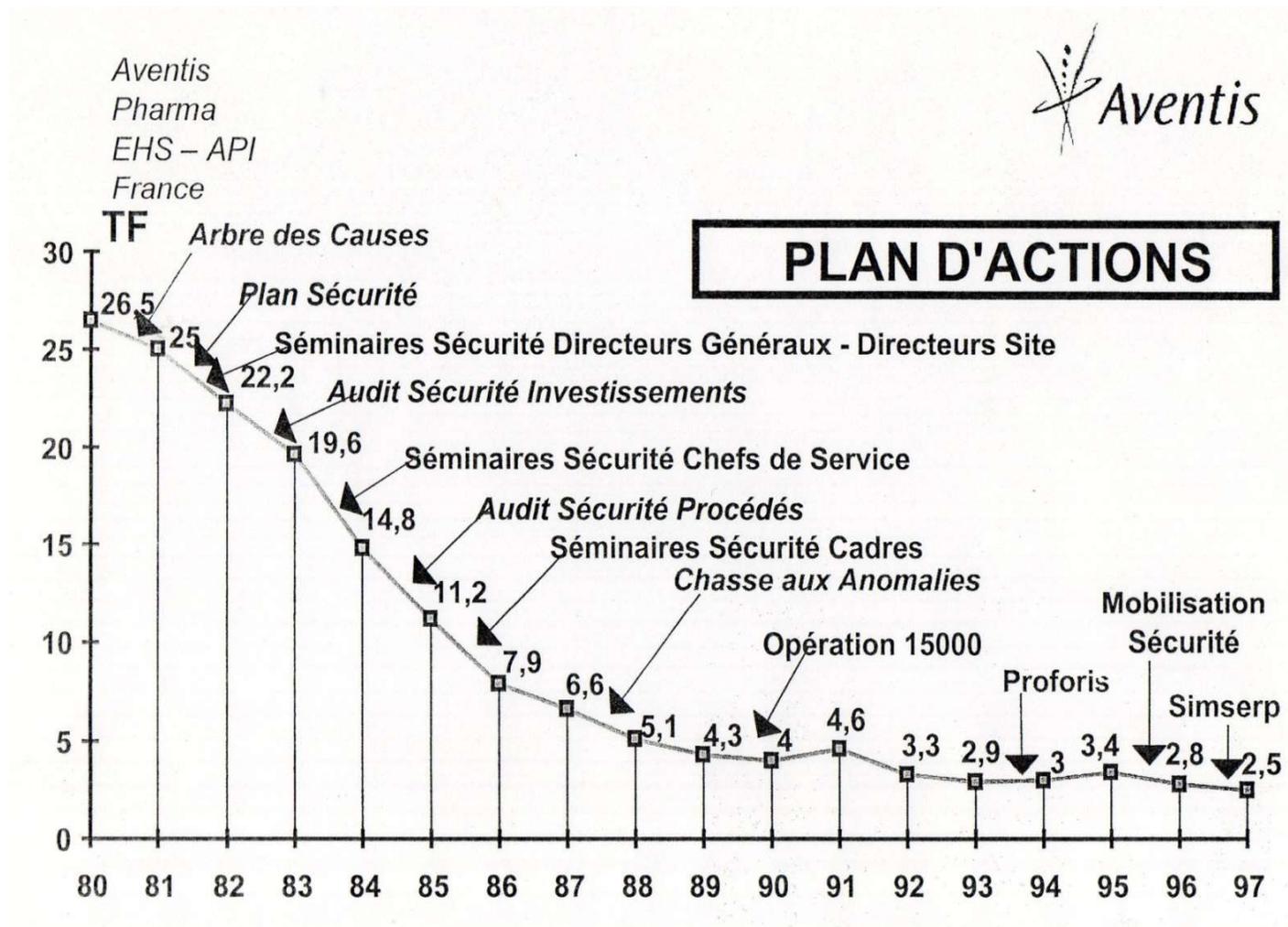


Problème des indicateurs pour la sécurité

- Distinction entre :
 - Indicateurs de résultat
 - Indicateurs de fonctionnement
- Cas des événements rares => indicateurs sur incidents
« précurseurs »
- Problème des biais liés à :
 - La responsabilité
 - La sanction
 - La récompense
 - La culture d'entreprise



Pertinence de l'indicateur



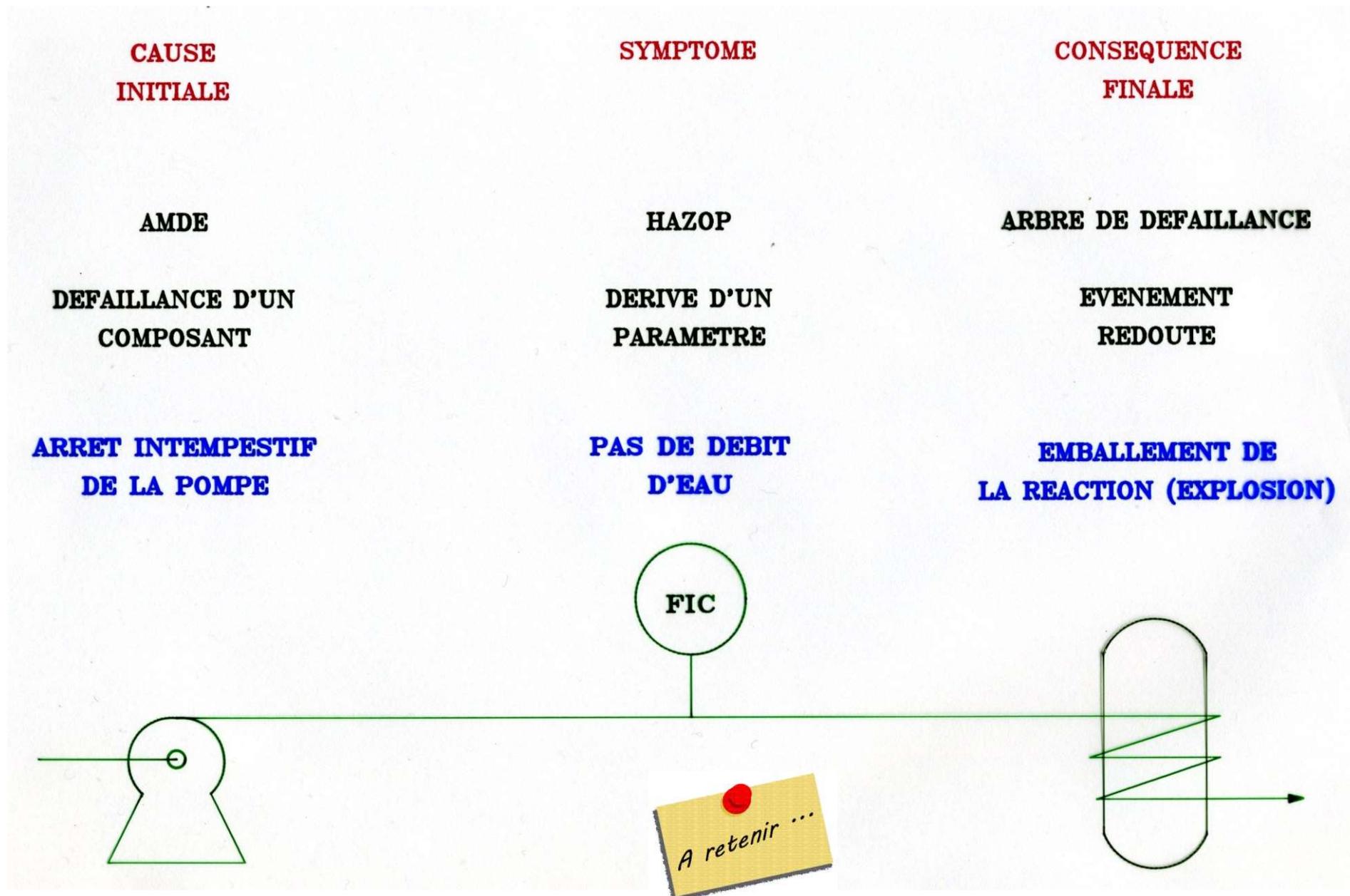
Est-ce pour autant que le TF rend compte de tous les aspects de la sécurité ?



La méthode HAZOP

Une méthode ciblée sur les dérives des
« briques » de procédés

Un pb de sécurité => une méthode ?



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**

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

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

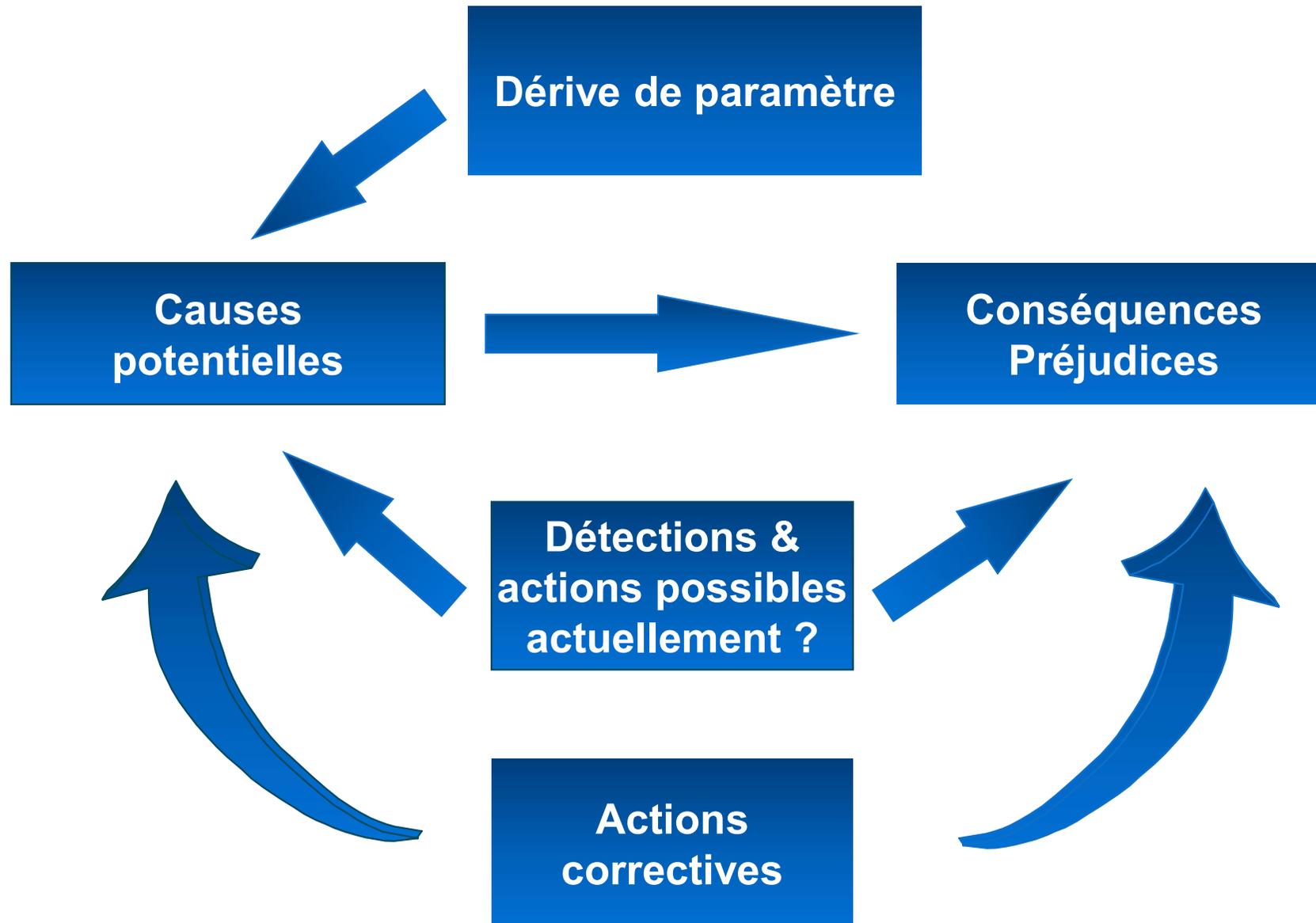


Mots guides et des paramètres

- Débit
- Niveau
- Pression
- Température
- Concentration
- Temps
- Des opérations à réaliser
- ...



Principe de la démarche HAZOP



Importance du lien causes / conséquences

Dérive

Trop de pression ->

Seules solutions:

Si on recherche les **causes** :

Conséquences

déformation de l'enveloppe, éclatement

capteur de pression ou soupape

- 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)

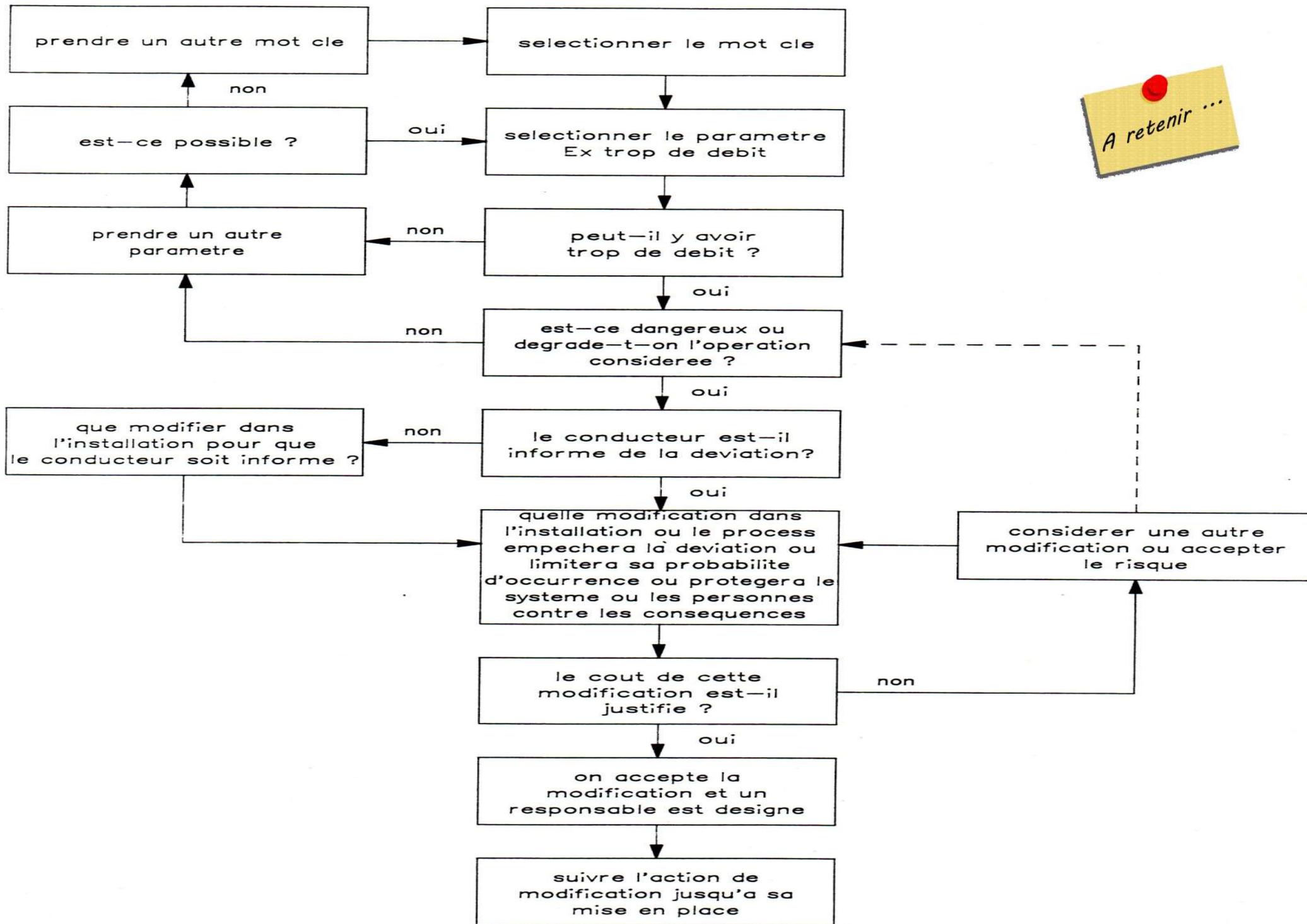
sauf si rupture du circuit caloporteur
en amont du réacteur

- 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





A retenir ...

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

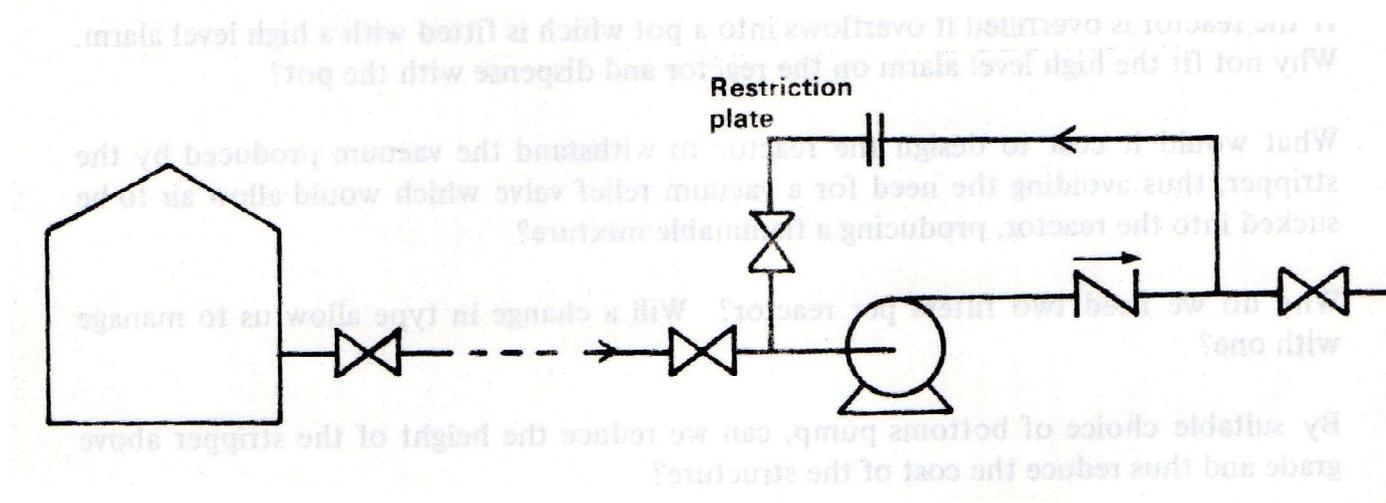
Installation existante

- 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 composant important (four, réacteur, colonne à distiller,...)
- Travail complémentaire entre les réunions



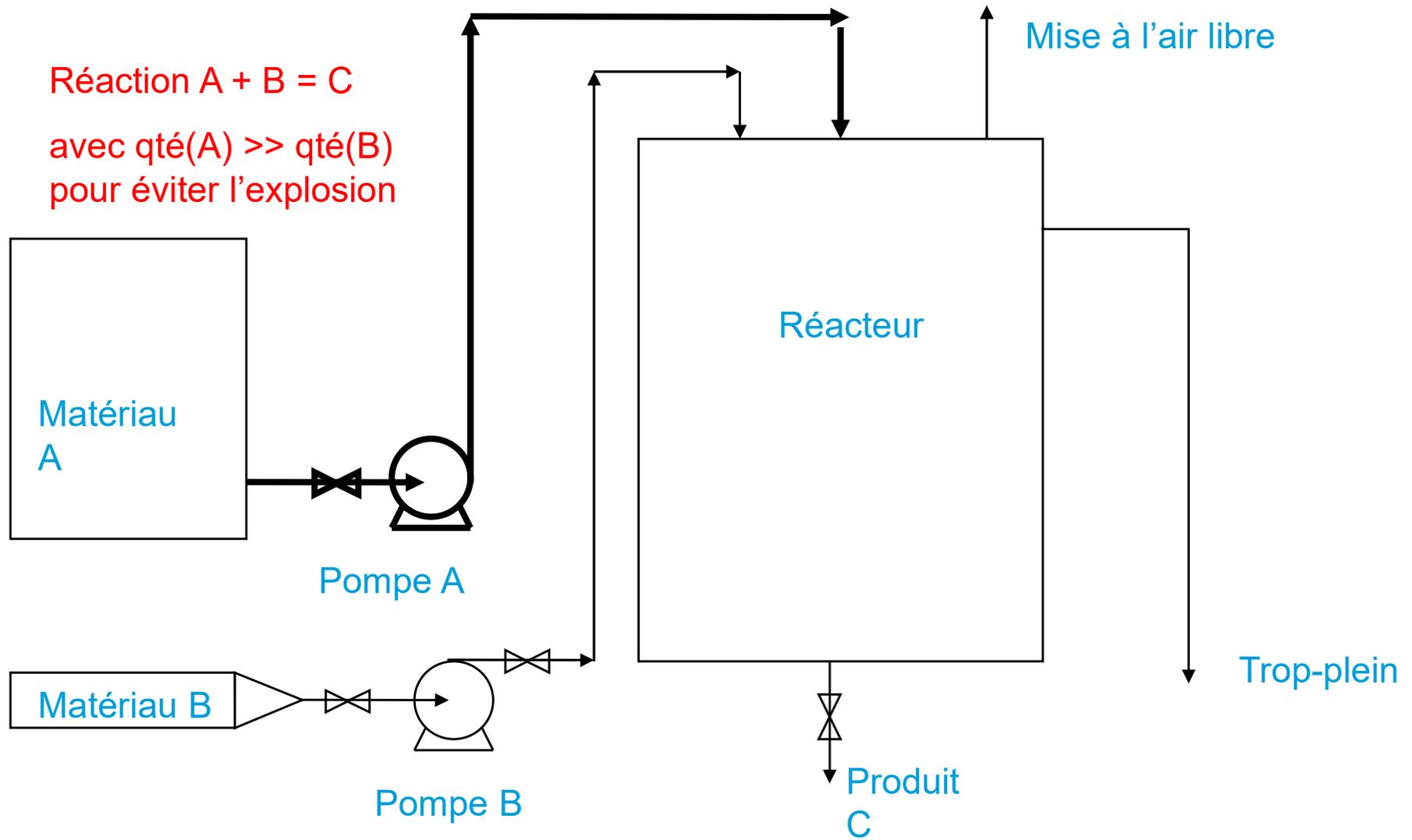
Exemples d'études HAZOP

Selon la norme CEI 61882

Des mots-guides différents mais identiques

<i>Type de déviation</i>	<i>Mot-Guide</i>	<i>Exemples d'interprétation</i>
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 $qté(A) \gg qté(B)$
pour éviter l'explosion



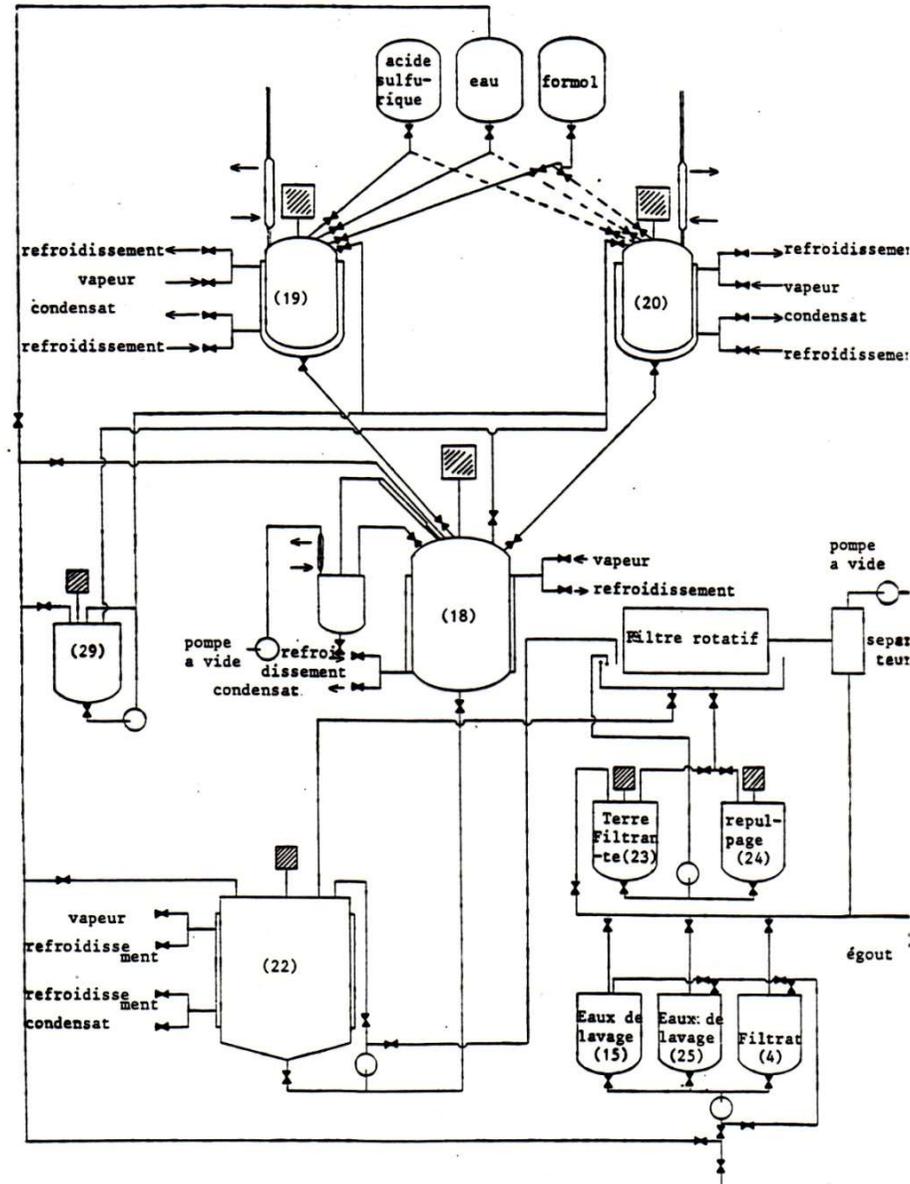
TITRE DE L'ETUDE : EXEMPLE							
COMPOSITION DE L'EQUIPE :		XX XX XX XX					Date : ...
PARTIE CONSIDEREE :		Conduit de transfert du réservoir d'approvisionnement A au réacteur					
INTENTION DE CONCEPTION :		Matériau : A		Activité : Transférer en continu à un débit supérieur à B			
		Source : réservoir A		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			
...							



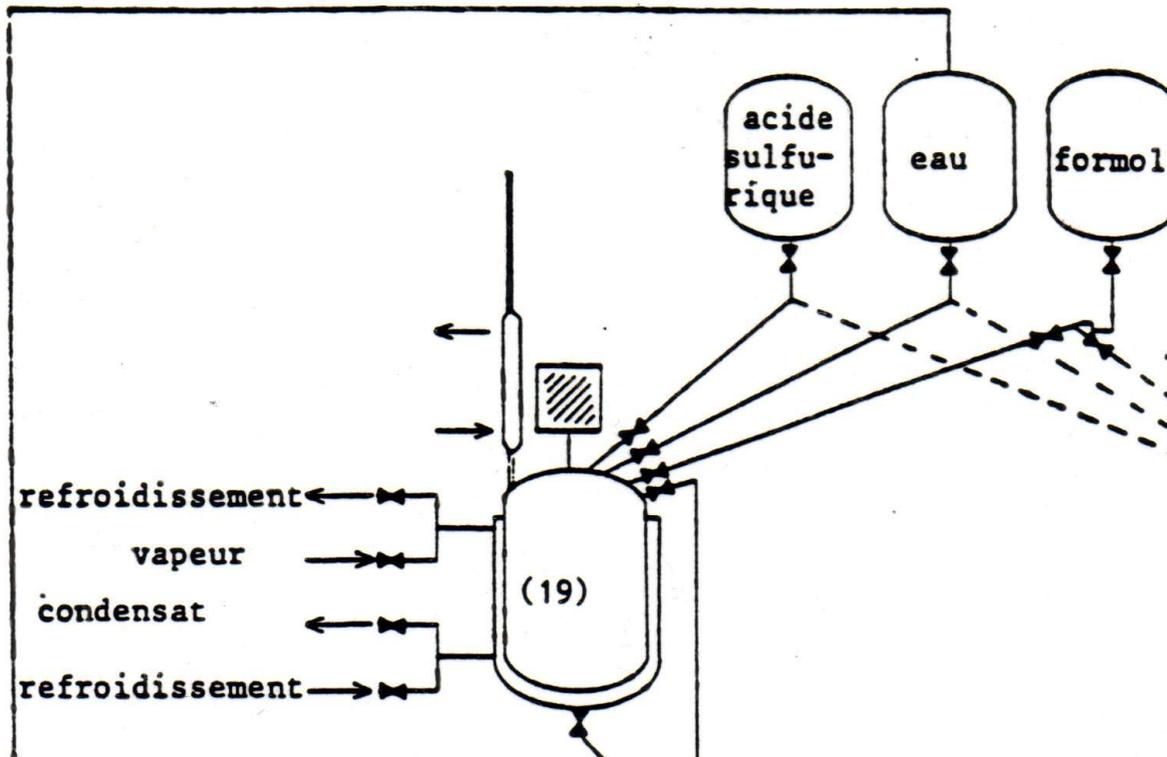
Exemples d'études HAZOP

Un cas réel conduisant à une complexification

Cas sulfonation de naphthalène



Cas sulfonation de naphthalène



Chargement du naphthalène
Fusion du naphthalène
Sulfonation par addition H_2SO_4
Addition de formol
Condensation du produit

Neutralisation par solution de
Chaux
Filtration du produit



HAZOP

Trop de débit de formol

Cause : erreur de l'opérateur

Conséquence : emballement de la réaction

Détection par l'opérateur ?

Stopper l'ajout de formol et augmenter refroidissement ?

Toute l'étude a conclu à une augmentation de l'instrumentation



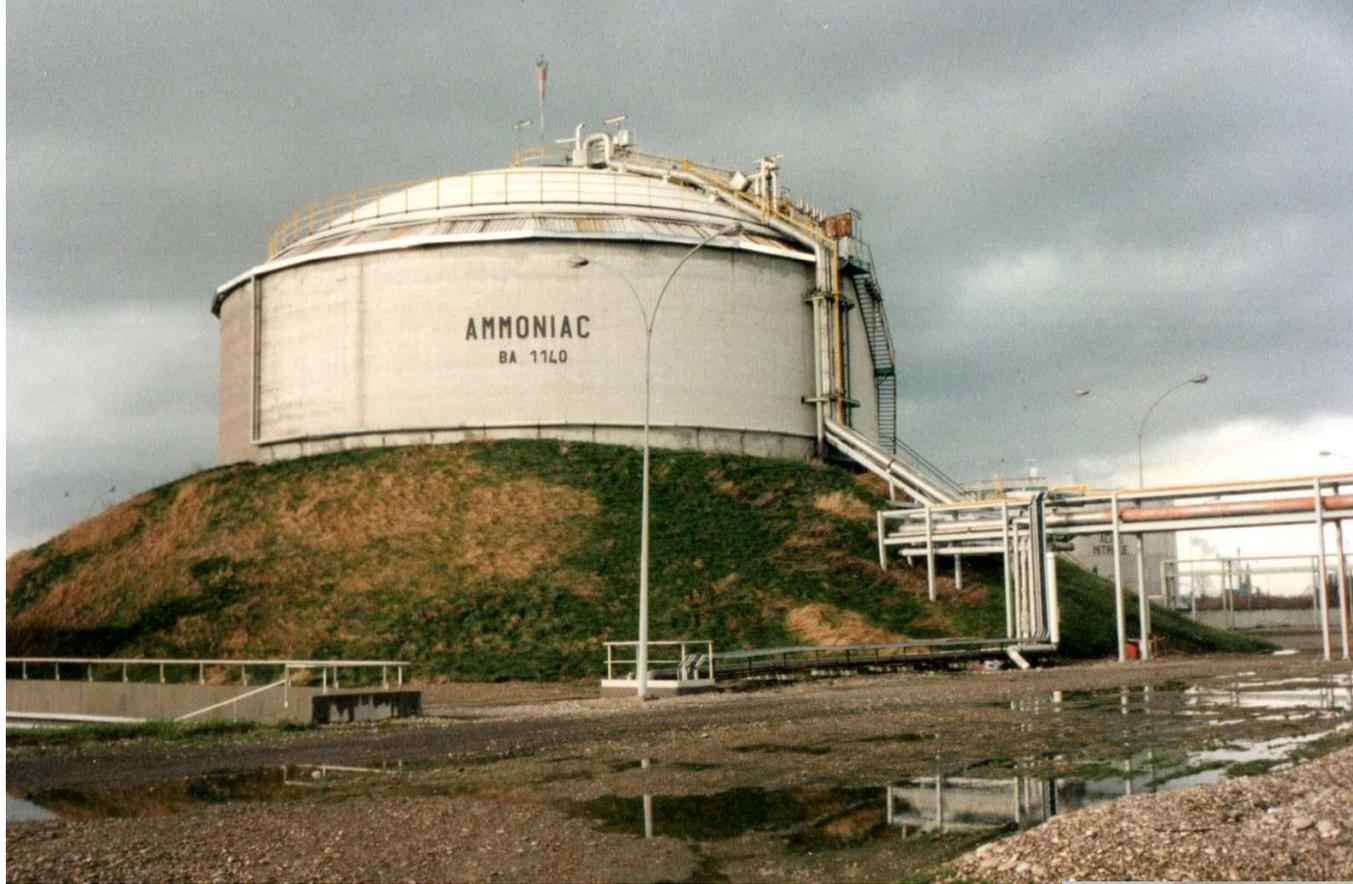
Exemples d'études HAZOP

Façon « poupées russes »
Stockage d'ammoniac (SEVESO)



Sphère de stockage NH₃ liquide sous pression et ses racks





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

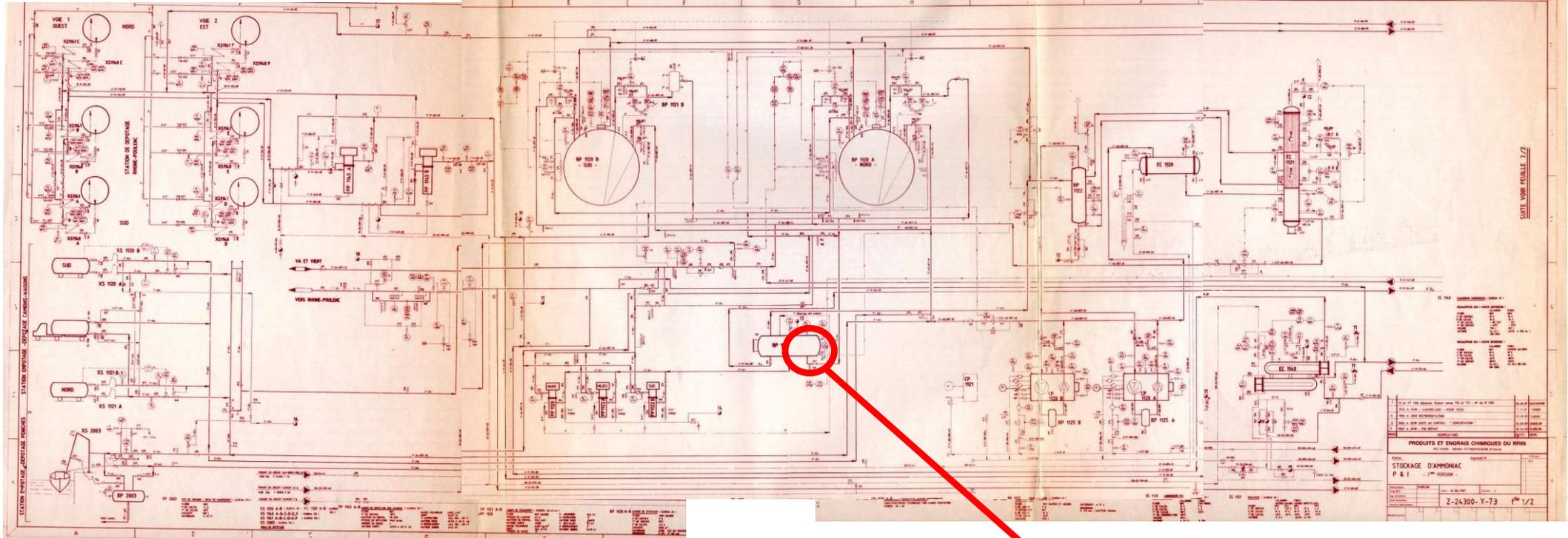
Déroulement

- 20 réunion HAZOP (1/2 j) sur 10 semaines
+ travaux de recherche d'informations complémentaires

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

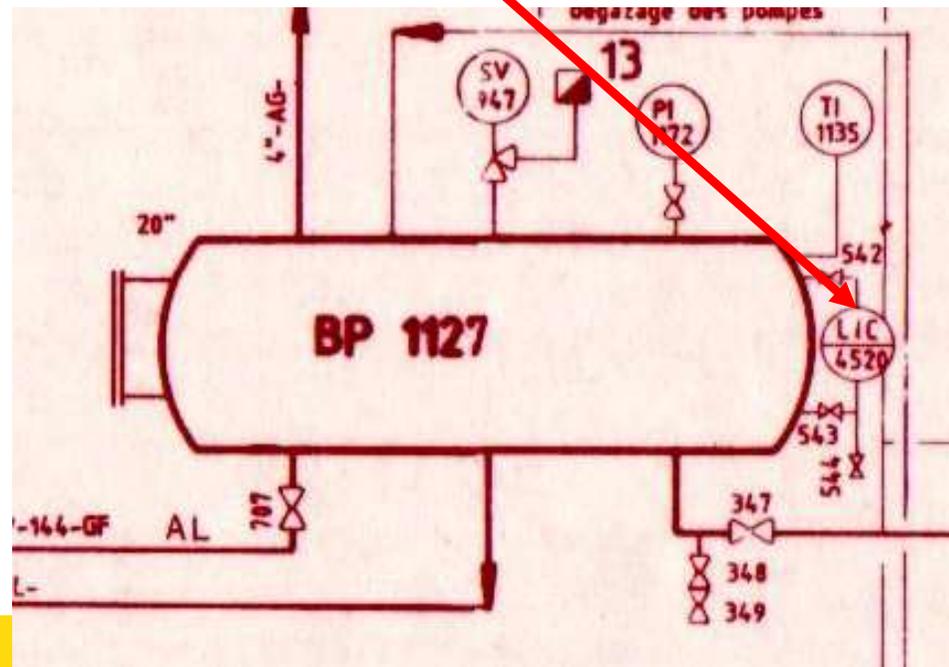
Résultats

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



Défaillance => niveau bas =>

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





Conclusions

Avantages-limités-...

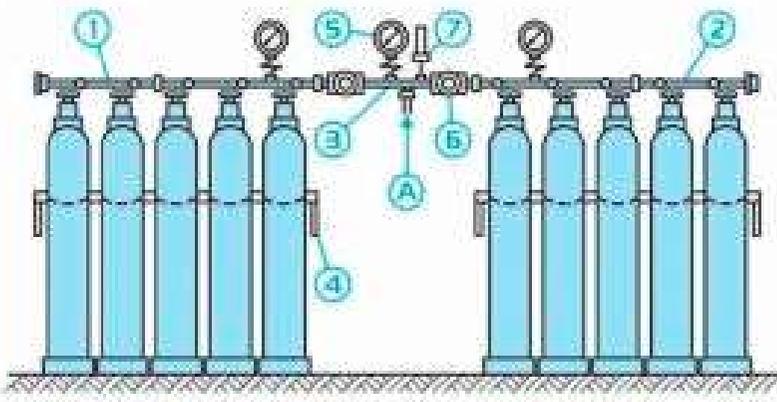
Le positif...

- La méthode HAZOP dédiée industrie de procédé
- Un puissant outil :
 - D'aide à la conception sûre
 - De mise en évidence des événements redoutés => intro à d'autres méthodes
- Méthode participative
 - => Appropriation des résultats

Mais ...



Pierrelatte 10/05/10



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 bar, le chargement doit les amener à 105 bar
Chargement de 2 cadres (A & B) à 90 bar, puis poursuite sur A seulement
Quand A à 105 bar, basculement automatique sur B
L'opérateur intervient pour remplacer les bouteilles de A.
Cadre B à son tour à 105 bar, 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

Comparaison des méthodes

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

Quelques conseils

- 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

- **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 ?

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 : 'HAZOP'. 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.

Application à la mise en œuvre de briefing de sécurité : trop d'informations, pas assez,

.....



Bilan

Méthode HAZOP

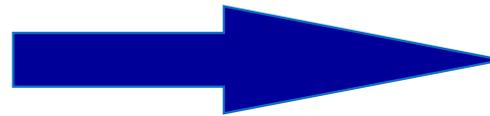
- Méthode centrale pour les études de procédés (« efficace à 75% »)
- Nécessite des approches complémentaires (AMDEC, What if?, ... Arbres de défaillance...)
- ...

**Mode de
défaillance**

**Dérive de
paramètre**



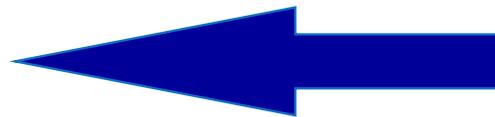
**Causes
potentielles**



**Conséquences
Préjudices**

Méthodes inductives : AMDEC, HAZOP, What if?

**Causes
potentielles**



**Evénement
redouté**

Méthodes déductives : arbre de défaillance

Méthode HAZOP

- Méthode centrale pour les études de procédés (« efficace à 75% »)
- Nécessite des approches complémentaires (AMDEC, What if?, Arbres de défaillance...)
- Doit être suivi de mise en œuvre (son côté participatif le facilite)
- Pérenniser les résultats



Observations de terrain :

- 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

Constat

- 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,...)

Galiléo

- les modes de contrôle de la DREAL (beaucoup trop formel)

Problèmes de mises en œuvre

- 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 marquée par l'expérience professionnelle
- Les moins expérimentés reconduisent les solutions déjà connues et pratiquées

Limites

- L'analyse de l'erreur humaine reste très partielle
- Pas de combinaison d'événements
- Des calculs de probabilités basées sur l'installation actuelle qui va être profondément modifiée
- L'aspect « procédure » reste très formel, pour ne pas dire théorique

