

# Explosion catastrophique d'un nuage de cyclohexane

Le 1<sup>er</sup> juin 1974

**Flixborough**  
**Royaume-Uni**

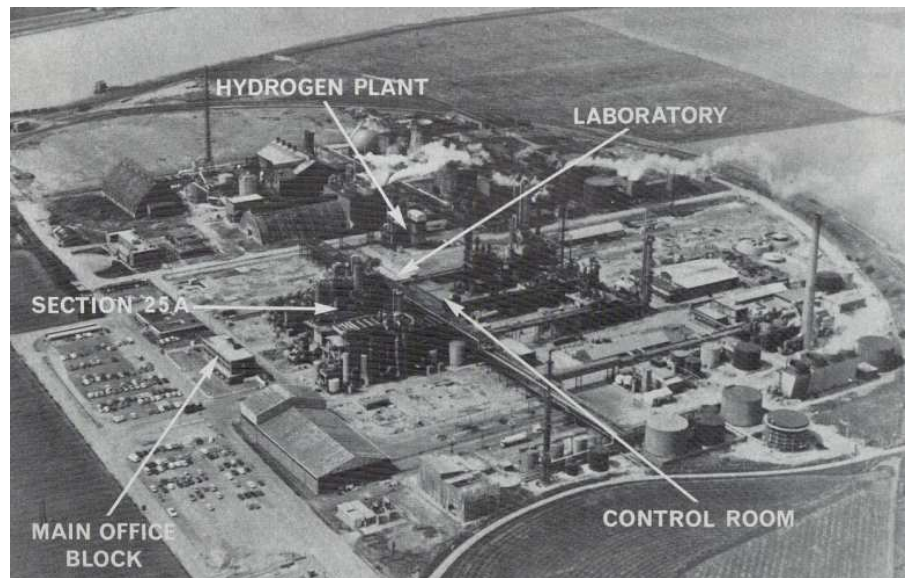
Chimie  
Canalisation  
Soufflets de dilatation  
Victimes  
Dommages matériels  
Modifications / réparations  
Facteur humain  
Corrosion sous tension  
Directive Seveso

## LES INSTALLATIONS CONCERNÉES

### Le site :

L'usine chimique emploie 550 personnes en 1974. Elle occupe un site de 24 ha au cœur des terres agricoles de Flixborough, à 260 km au nord de Londres. Les deux villages les plus proches, Flixborough et Amcott, sont à 800 m de l'usine ; les agglomérations de Burton et Scunthorpe sont respectivement situées à 3,5 et 5 km.

Construite en 1938 pour produire des engrais, l'usine change de propriétaire en 1964 dans l'optique de produire du caprolactame, intermédiaire de fabrication du nylon. Ainsi, une première unité de 20 000 t/an produisant du caprolactame par hydrogénation du phénol est mise en service en août 1967. En 1972, la capacité de production de caprolactame est portée à 70 000 t/an après construction d'une nouvelle unité utilisant un procédé d'oxydation du cyclohexane.



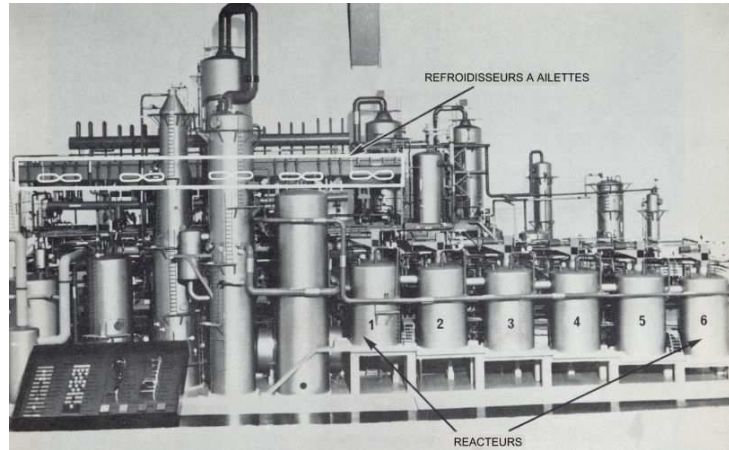
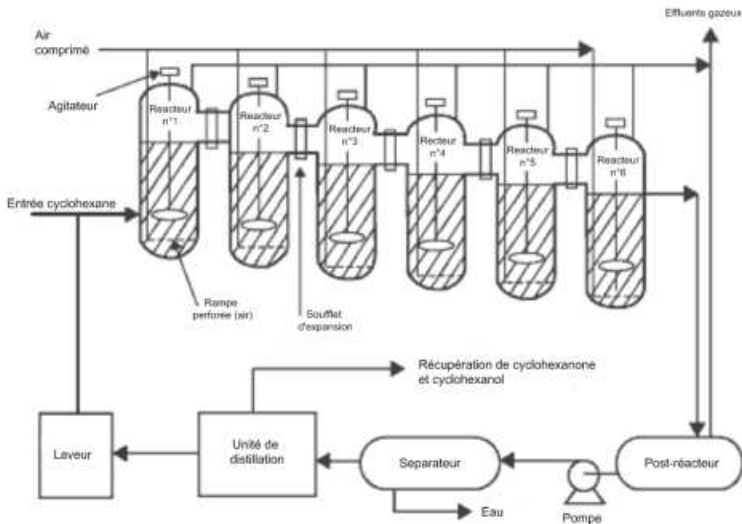
Vue aérienne du site avant l'accident. Source : Secretary Of State For Employment. (1975). *The Flixborough Disaster*. London : HSMO.

### L'unité impliquée :

Construite en 1972, l'unité caprolactame (section 25 A) met en œuvre l'oxydation de cyclohexane dans une série de 6 réacteurs en cascade. Chaque réacteur, d'une capacité unitaire de 45 m<sup>3</sup> (5 m de haut pour 3,5 m de diamètre) est en acier doux 13 mm plaqué à l'intérieur par de l'acier inoxydable (3 mm) et possède un agitateur central.

L'oxydation est réalisée en présence d'un catalyseur par de l'air comprimé injecté à l'aide d'une rampe perforée dans les réacteurs chargés de 25 m<sup>3</sup> de cyclohexane, à 155 °C sous 8,8 bar de pression ; elle permet d'obtenir du cyclohexanone et du cyclohexanol mais avec un rendement relativement faible qui nécessite la mise en œuvre d'une grande quantité de cyclohexane et d'un circuit de recirculation. Un débit de 250 à 300 m<sup>3</sup>/h de liquide circule d'un réacteur à l'autre par des tuyauteries de 28" (711 mm) de diamètre équipées de soufflets de dilatation en acier inoxydable.

En matière de sécurité, de l'azote est utilisé pour inerte les installations et les soupapes protégeant l'unité contre les surpressions sont tarées à 11 bar.



Représentation de l'unité caprolactame - Source : Secretary Of State For Employment. (1975). *The Flixborough Disaster*. London : HSMO.

## L'ACCIDENT, SON DÉROULEMENT, SES EFFETS ET SES CONSÉQUENCES

### L'accident :

Alors que la nouvelle unité caprolactame ne fonctionne à plein régime que depuis le début de l'année 1974 à cause de problèmes techniques et sociaux (cf. § circonstances), de nouvelles difficultés apparaissent à la fin du mois de mars, menaçant à nouveau la productivité de l'usine.

Le 27 mars, une fuite de cyclohexane est observée sur le réacteur n°5 au niveau d'une fêlure verticale dans la paroi. L'exploitant décide de réaliser une inspection complète du réacteur lors du prochain arrêt de l'unité.

Le 28 mars, la fêlure observée sur le réacteur n°5 s'étend désormais sur 2 m de long ; l'installation est arrêtée et le réacteur n°5 retiré pour inspection. Pour reprendre la production le plus rapidement possible, la construction d'un by-pass entre les réacteurs 4 et 6 est décidée et mise en œuvre immédiatement sans étude particulière, à partir d'un plan dessiné sur le sol de l'atelier.

Le 1<sup>er</sup> avril, après un test de fuite, l'unité redémarre avec une conduite coudée de 20" (508 mm) de diamètre reliant les 2 soufflets de dilatation de 28" de diamètre des réacteurs 4 et 6 par l'intermédiaire d'une plaque et d'une bride. L'assemblage est soutenu par des échafaudages qui n'empêchent pas les mouvements de la conduite.

Jusqu'au 29 mai, l'installation fonctionne normalement sans qu'aucun problème particulier ne soit rapporté.

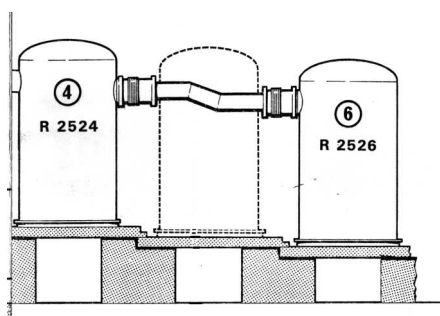
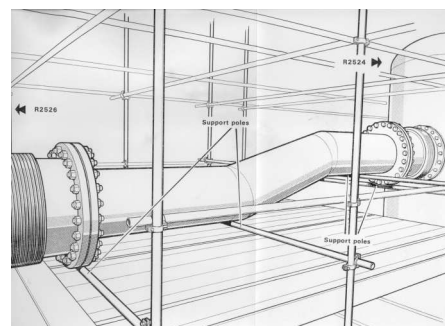


Schéma du by-pass entre les réacteurs 4 et 6

Source : Secretary Of State For Employment. (1975). *The Flixborough Disaster*. London : HSMO.

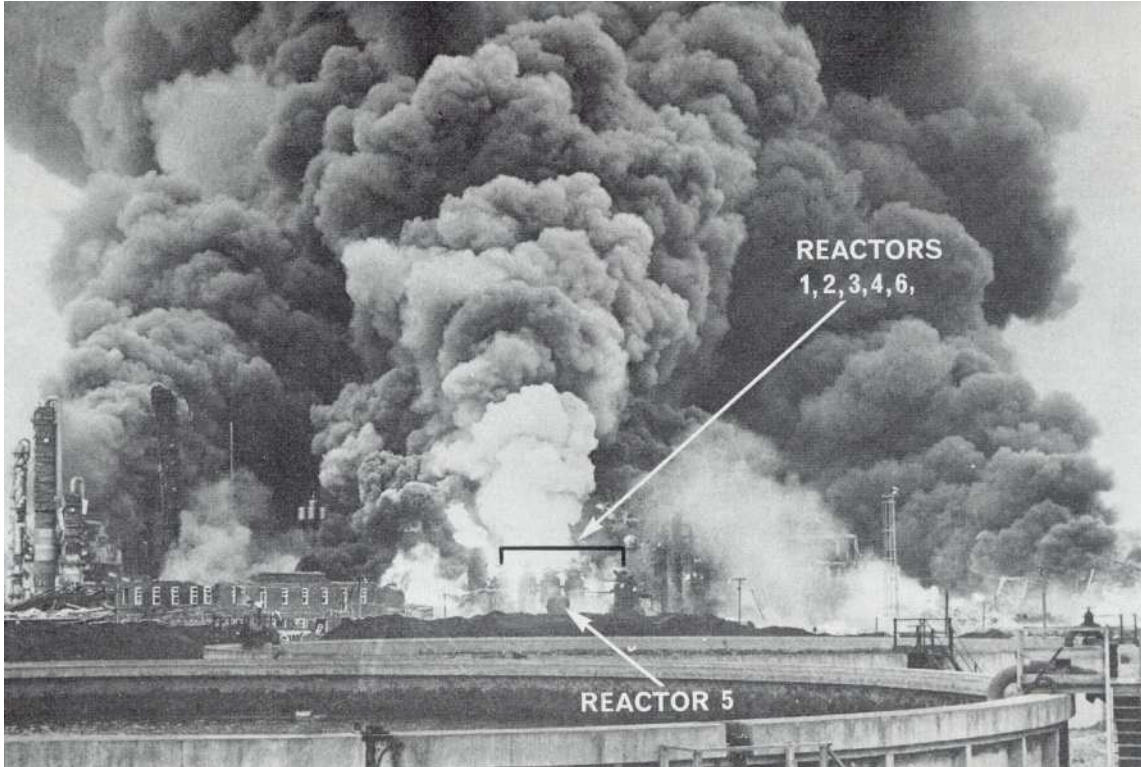


Le 29 mai, l'installation est arrêtée après la découverte d'une fuite de cyclohexane.

Après réparation et test, l'unité redémarre dans les premières heures du samedi 1<sup>er</sup> juin. A 4 h, une nouvelle fuite de cyclohexane est observée, suivie de plusieurs autres. L'installation est une nouvelle fois stoppée avant de redémarrer une heure plus tard, les fuites s'étant « résorbées d'elles-mêmes ». Peu après, une nouvelle fuite contraint l'exploitant à arrêter la production, les outils particuliers nécessaires à la réparation n'étant pas disponibles sur le site.

A 7 h le 1<sup>er</sup> juin, le procédé est relancé mais de nouvelles difficultés sont observées lors de la mise en chauffe, notamment pour maîtriser les températures et pressions dans l'installation (un délestage sera notamment nécessaire).

A 16h53, une déflagration perçue jusqu'à 50 km rase presque totalement le site. Dans de nombreux secteurs de l'usine, de violents incendies suivront, avec des flammes atteignant 70 à 100 m de hauteur. L'augmentation instantanée de la pression à l'épicentre de l'explosion, évaluée à plus de 2 bar, détruit toutes les installations fixes d'extinction incendie compliquant ainsi l'intervention des secours ; l'extinction des principaux foyers ne sera obtenue que 2,5 jours plus tard.



Source : Secretary Of State For Employment. (1975). *The Flixborough Disaster*. London : HSMO.

### Les conséquences :

#### **Conséquences humaines :**

Parmi les 72 personnes présentes dans l'usine lors de l'explosion,

- 28 sont tuées, dont les 19 personnes se trouvant dans la salle de contrôle,
- 36 sont blessées.

A l'extérieur de l'établissement, 53 blessés sont recensés mais des centaines d'autres personnes souffrant de blessures plus légères n'ont pas été officiellement comptabilisées.

Face aux risques générés par les fumées de combustion des solvants et produits chimiques directement impliqués, près de 3 000 habitants des localités voisines sont évacués et passent la nuit du samedi au dimanche dans des campements de fortune installés par l'armée. Ils regagneront leur domicile le dimanche après-midi.

Ce bilan, déjà lourd, aurait été d'une toute autre ampleur, si l'accident s'était produit un jour de semaine, en présence des 550 employés de l'usine, d'autant que les bâtiments administratifs, les bureaux techniques, la salle de contrôle, les laboratoires et les ateliers d'entretien du site ont tous été dévastés.

#### **Dommages matériels :**

Les dommages matériels provoqués par l'explosion concernent une vaste zone :

- tous les bâtiments sont détruits dans un rayon de 600 m autour de l'épicentre de l'explosion,
- 1 820 habitations et 167 commerces des environs sont endommagées à des degrés divers, cela concerne notamment 72 des 79 maisons de Flixborough, 73 des 77 maisons d'Amscott et 644 des 756 maisons de Burton,
- la portée des effets missiles liés à l'explosion est très importante : une grosse pièce d'équipement sera retrouvée à 6 km de l'usine et des débris de plus petite taille sont retrouvés jusqu'à Anlaby, situé à 32 km.

L'estimation du coût de la catastrophe varie énormément d'une source à l'autre. Il est cependant fort probable qu'il excède les 100 millions de dollars de l'époque.



### Conséquences environnementales :

La TRENT dont le lit est proche du site est interdite à la pêche.



### Échelle européenne des accidents industriels :

En utilisant les règles de cotation des 18 paramètres de l'échelle officialisée en février 1994 par le Comité des Autorités Compétentes des Etats membres pour l'application de la directive 'SEVESO' et compte-tenu des informations disponibles, l'accident peut être caractérisé par les 4 indices suivants :

Matières dangereuses relâchées		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conséquences humaines et sociales		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Conséquences environnementales		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conséquences économiques		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Les paramètres de ces indices et leur mode de cotation sont disponibles à l'adresse : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr>.

L'indice « matières dangereuses relâchées » est au moins égal à 4 car la puissance de l'explosion serait comparable à celle de 16 t de TNT (paramètre Q2) [3]. Par ailleurs, compte tenu de la quantité de cyclohexane présente dans l'unité au moment de l'accident, il est probable qu'au moins une centaine de tonnes de cyclohexane ait participé à l'accident (explosion + incendie), ce qui représente 50 % du seuil Seveso de la substance (paramètre Q1).

Plus de 50 personnes du public ayant été blessées gravement (hospitalisation supérieure à 24 h) par l'accident, l'indice « conséquences humaines et sociales » est égal à 6 (paramètre H4).

La TRENT ayant été polluée (une mesure d'interdiction de la pêche a été prise), l'indice « conséquences environnementales » est au moins égal à 1 (paramètre Env14).

Le seul coût des dommages matériels provoqués par l'accident étant supérieur à 100 M\$ de l'époque (soit plus de 300 M€ - réf 1993), l'indice « conséquences économiques » est égal à 6 (paramètre €15 et €16).

## L'ORIGINE, LES CAUSES ET LES CIRCONSTANCES DE L'ACCIDENT

### Les circonstances

#### Contexte économique

Depuis sa construction, l'unité connaît de multiples difficultés qui l'empêche d'atteindre son objectif de production de caprolactame de 70 000 t/ an.

En novembre 1973 s'ajoute à cela la grève des mineurs qui conduit le gouvernement à déclarer l'état d'urgence et restreindre aux industries l'utilisation d'électricité à 3 jours par semaine. L'usine qui ne peut adopter ce mode de fonctionnement, utilise ses groupes électrogènes de secours pour ne faire fonctionner que les équipements essentiels à la production. Ainsi, les agitateurs des réacteurs de l'unité caprolactame seront stoppés. En janvier 1974, la grève des mineurs prend fin, la production de l'usine revient à la normale mais l'agitateur du réacteur n°4 de l'unité caprolactame ayant subi une dégradation d'origine inconnue n'est pas remis en fonctionnement [8].

En début d'année 1974, l'usine fonctionne sur une base de 47 000 t/an. Confronté à d'importantes pertes financières, la société propriétaire de l'usine, seul producteur de caprolactame en Grande Bretagne, demande à la commission gouvernementale des prix d'autoriser une augmentation de 48 % du prix de caprolactame, ce qu'elle refusera.

Au moment de l'accident, l'exploitant est donc soumis à une importante pression économique et commerciale.

## Ressources humaines de l'entreprise

En juin 1974, l'ingénieur d'entretien de l'usine qui a quitté son poste en début d'année n'a toujours pas été remplacé. Les autres ingénieurs du site n'ayant pas de compétence particulière en mécanique, son travail est alors assuré par son subordonné, un technicien qui a passé 10 ans dans le service électricité et 4 ans dans le service maintenance. Bien qu'ayant suivi une formation continue, il n'a pas une qualification suffisante pour le poste.

Par ailleurs, la structure d'ingénierie de l'usine est faible, le directeur et le directeur technique étant tous les 2 des chimistes sans formation ni qualification en mécanique.

A ce sujet la commission d'enquête conclura que « *s'il y avait eu à ce moment-là la présence d'un ingénieur d'entretien convenablement qualifié, avec un statut suffisant et une autorité pour imposer ses vues, il aurait, nous le pensons tous, insisté pour qu'il n'y ait aucun redémarrage avant que les autres réacteurs n'aient été entièrement inspectés et que la cause de la fêlure du réacteur n°5 n'ait été déterminée (...)* »

## Situation réglementaire

Au moment de l'accident, plus de 400 000 gallons (1,5 millions de litres) de produits dangereux sont stockés sur le site alors que l'exploitant ne détient de licence que pour 7 000 gallons. Il s'agit notamment de :

- 330 000 gallons de cyclohexane (non autorisés)
- 66 000 gallons de naphta (contre 7 000 autorisés),
- 11 000 gallons de toluène (non autorisés )
- 26 400 gallons de benzène (non autorisés )
- 450 gallons de gazolène (1 500 autorisés).

Ces stocks ne participeront pas à l'accident mais posent la question du contrôle de l'usine par les autorités dont il ne sera pas fait mention dans le rapport d'enquête.

## Les causes de l'accident

La détermination des causes exactes de l'accident et des processus précédents l'explosion est rendue très difficile par l'absence de témoins (toutes les personnes présentes dans la salle de contrôle ont été tuées dans l'accident) et la destruction de tous les instruments de l'unité.

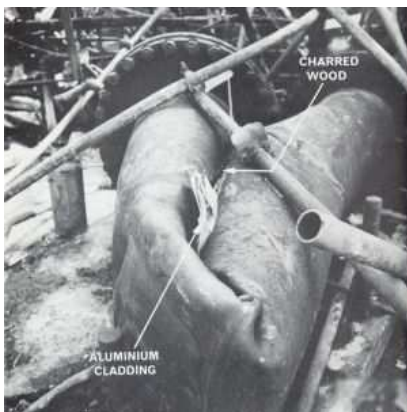
Une commission d'enquête mise en place par le Secretary of State for Employment est chargée d'examiner les causes de l'accident et d'en déterminer les responsabilités. Ses conclusions, rendues en avril 1975, ne feront cependant pas l'unanimité et différentes théories quant aux causes de l'accident feront l'objet de publications scientifiques au cours des décennies suivantes.

Les conclusions de la commission d'enquête et un résumé de 3 autres hypothèses sont présentés ci-après.

## Les conclusions de la commission d'enquête :

Selon le rapport d'enquête, la rupture au niveau des 2 soufflets de raccordement de la conduite provisoire de 20" mise en place entre les réacteurs 4 et 6, a provoqué une fuite massive de cyclohexane chaud et sous pression. Le nuage de 40 à 60 t de cyclohexane ainsi formé, s'est ensuite enflammé 25 à 35 s plus tard, au contact de la tour de reforming de l'unité hydrogène située à 100 m du point de fuite, provoquant une explosion suivie de multiples incendies.

Pour la commission, la conduite de 20" aurait cédé en 1 seule phase, à cause des conditions de température et de pression internes qui, bien que restant dans le domaine de fonctionnement de l'unité, auraient été plus sévères qu'habituellement. Elles auraient provoqué la torsion des 2 soufflets de raccordement suivie de la violente « mise en portefeuille » de la conduite, à l'origine de la rupture. Les expérimentations menées sur des reproductions de l'assemblage à l'échelle 1 ont par ailleurs montré que la torsion des soufflets dépend de la rigidité axiale de ceux-ci et du nombre et de la position des baliveaux et de la distance qui les séparent.



Mais la véritable cause de l'accident est bien le « bricolage » qu'a constitué le retrait du réacteur n°5 et la construction du by-pass. Celle-ci n'a fait l'objet d'aucune étude, ni d'aucun test. Après travaux, aucune vérification sur les opérations réalisées n'a été menée, seul un test à l'azote à 9 bar a été effectué, mais il s'agissait d'un test de fuite et non de sécurité (la pression de tarage des soupapes est de 11 bar).

Le rapport d'enquête pointe notamment :

- qu'aucun calcul ne fut fait et que personne ne s'interrogea sur la résistance des soufflets et du by-pass, malgré les efforts subis du fait de la poussée hydraulique du cyclohexane, des mouvements de torsion de l'assemblage...
- qu'aucune référence ne fut faite aux normes ou standards de l'époque, au guide de l'utilisateur publié par le fabricant des soufflets...
- qu'aucun pilier ou autre moyen ne fut utilisé pour empêcher le mouvement du by-pass.



A l'origine de la séquence accidentelle, la défaillance du réacteur n°5 résulte d'une corrosion fissurante provoquée par des nitrates amenés par l'eau avec laquelle était arrosées par le passé les petites fuites de cyclohexane, limitant ainsi le risque d'inflammation. Cette eau avait pénétré dans le calorifuge et en s'évaporant, avait déposé des nitrates sur l'acier de l'appareil.

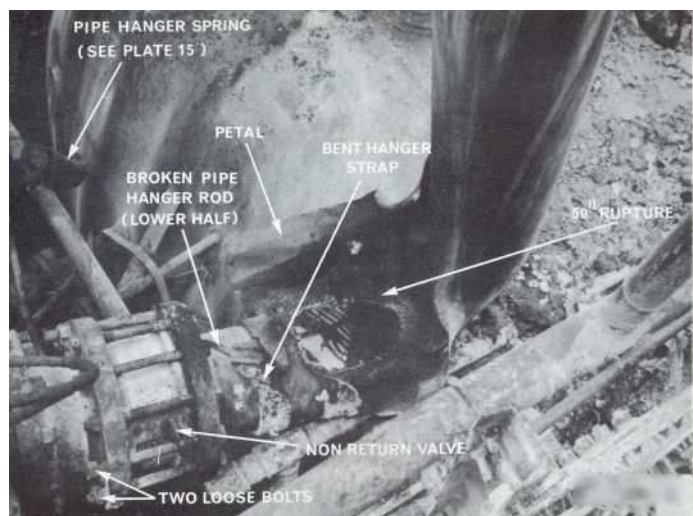
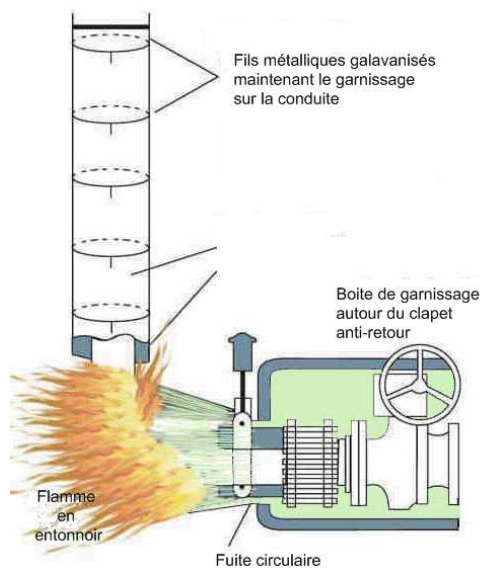
La cause de la fuite sur le réacteur n°5 aurait dû être étudiée avant tout redémarrage de l'unité et les autres réacteurs vérifiés au regard des dégradations subies par le réacteur n°5. Mais cette démarche aurait nécessité l'arrêt de l'usine pendant plusieurs jours ; c'est le souci de minimiser le temps d'arrêt de l'installation et les pertes de production qui ont motivé le montage de fortune à l'origine de l'accident.

#### L'hypothèse de la canalisation de 8" :

La commission d'enquête a également étudié un second scénario d'accident appelé « hypothèse de la canalisation de 8" » qu'elle a finalement écarté, soulignant qu'il résulterait d'une succession d'événements pour la plupart improbables.

Cette théorie, défendue notamment par Dr John Cox, confirme que l'explosion majeure résulte de la rupture en porte-feuille du by-pass de 20", mais elle affirme que celle-ci est due à une explosion primaire externe provoquée par une fuite de cyclohexane sur une canalisation de 8" et non aux conditions de température et de pression internes à l'unité.

Selon Cox, un défaut d'étanchéité sur le joint d'un clapet anti-retour, dû au mauvais serrage de 2 boulons sur la bride du clapet, serait à l'origine d'une petite fuite enflammée de cyclohexane en direction d'un coude de la canalisation de 8", détruisant ainsi son garnissage. Le contact du zinc constituant les fils métalliques de maintien du garnissage, avec l'acier de la conduite de 8" aurait provoqué immédiatement une fissure de 3" sur la canalisation ; la double fuite enflammée aurait contribué à porter le coude de la canalisation à une température de 950°C pendant au moins 4 min, provoquant une rupture de la conduite par fluage sur plus d'un mètre (50"), en forme de pétales, telle que retrouvée dans les décombres. Le cyclohexane ainsi rejeté aurait provoqué une explosion au niveau d'un refroidisseur à ailettes de l'unité qui aurait engendré une force descendante sur le by-pass de 20", à l'origine de sa rupture.



Vue de la rupture de 50" sur la canalisation de 8"  
Source : Secretary Of State For Employment. (1975). *The Flixborough Disaster*. London : HSMO.

### La théorie de l'eau :

Cette hypothèse défendue par Ralph King affirme que la rupture du by-pass de 20 '' résulte d'une brusque montée en pression due à la présence d'eau dans le réacteur n°4, formant un azéotrope avec le cyclohexane.

L'eau et le cyclohexane n'étant pas miscibles, ils forment à leur interface une couche liquide appelée azéotrope dont le point d'ébullition est inférieur à ceux de l'eau et du cyclohexane.

Dans des conditions normales d'exploitation, cet azéotrope ne peut se former du fait de l'action des agitateurs. Or, le jour de l'accident, l'agitateur du réacteur n°4 ne fonctionne pas à cause d'un problème mécanique (cf. § circonstances). Deux phases, l'une aqueuse, l'autre de cyclohexane, ont donc pu se former dans le réacteur n°4, avec à l'interface un azéotrope instable. Au démarrage, la température dans l'installation augmentant, le point d'ébullition de celui-ci aurait été atteint provoquant une brusque montée en pression et une projection de cyclohexane et d'eau surchauffée, à l'origine de la rupture de la canalisation provisoire, seulement soutenue par de minces baliveaux.

Plus de 25 ans après l'accident, le Health and Safety Executive (HSE) initiera une série d'expérimentation pour étudier la « théorie de l'eau ». Les premiers résultats indiquent que la présence d'eau dans le réacteur n°4 était probablement significative. Les essais à plus grande échelle ont montré une augmentation de la pression statique due à l'interaction entre l'eau et le cyclohexane mais à des niveaux insuffisants pour confirmer l'hypothèse de Ralph King.

### La théorie de Venart :

Jim Venart défend enfin l'hypothèse selon laquelle la canalisation temporaire de 20'' ne se serait pas rompue en une seule phase mais en 2 étapes.

Le soufflet lié au réacteur n°4 aurait d'abord cédé vraisemblablement par fatigue due aux vibrations générées par le débit de liquide dans l'installation, libérant une quantité de cyclohexane estimée de 10 à 15 t (alors que le rapport d'enquête évoque une quantité de 40 à 60 t de cyclohexane participant à l'explosion). Le nuage explosif ainsi formé aurait explosé 20 à 40 s plus tard. La rupture du soufflet lié au réacteur n°6 et la « mise en porte-feuille » du by-pass ne seraient donc qu'une conséquence de l'explosion.

## LES SUITES DONNÉES

---

Le 17 juin 1974, le Secretary of State for Employment ordonne la réalisation de 2 enquêtes. L'une menée par une Commission d'Enquête examinera les causes de l'accident et précisera les responsabilités. L'autre, réalisée par un comité d'experts, conseillera le gouvernement sur les mesures à prendre pour maîtriser le fonctionnement des usines chimiques susceptibles de causer d'autres accidents majeurs.

Au moment des faits, le projet de loi « Health and Safety at work » est en discussion au parlement ; adopté à la fin de l'année 1974, il stipule que l'exploitant doit prendre toutes les mesures raisonnables (en liaison avec le niveau de risque) pour assurer la sécurité et la santé des personnes.

L'accident de Flixborough ainsi que celui de Seveso (ARIA 5620) survenu en Italie en 1976 seront à l'origine de la prise de conscience des Etats européens de la nécessité de renforcer le contrôle des pouvoirs publics sur les activités industrielles présentant des risques technologiques majeurs afin de mieux gérer le risque industriel. Ainsi, le 24 juin 1982, le conseil européen adopte ainsi la « directive Seveso ».

Malgré les protestations locales, l'usine de Flixborough sera reconstruite en tenant compte des leçons tirées de l'accident. Ainsi le procédé utilisant l'oxydation du cyclohexane sera notamment remplacé par celui mettant en oeuvre l'hydrogénation de phénol, réputé plus sûr.

Mais l'usine fermera quelques années plus tard pour des raisons économiques et ses installations industrielles seront détruites en 1981.

## LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS

---

Un grand nombre d'enseignements techniques et organisationnels peuvent être tirés de la catastrophe de Flixborough en terme de conception d'installation, de gestion de modification, de maintenance, de management...

### Conception des installations :

La mort des 19 personnes présentes dans la salle de contrôle de l'unité montre la nécessité de concevoir avec soin la **structure et l'emplacement des salles de contrôle** pour limiter les risques encourus par les personnes à l'intérieur. Par ailleurs, la position des locaux occupés sur le site (bâtiments administratifs, laboratoires...) doit être soigneusement étudiée afin d'isoler les unités les plus dangereuses et d'en limiter l'accès aux seules personnes autorisées.

L'un des moyens pour limiter les risques d'accident majeur est **de limiter le potentiel de danger présent sur le site**, notamment en limitant les quantités de matières dangereuses stockées ou mises en oeuvre.

### Gestion des modifications, maintenance et interventions :

La conception, la réalisation et le contrôle des modifications d'une installation dangereuse doivent être réalisés selon les mêmes standards que l'installation originale car **toute modification même minime peut engendrer des risques**. Sous peine d'être incomplète, l'analyse de risque menée avant toute modification doit prendre en compte l'unité concernée mais également les unités liées à celle-ci par leur proximité, le partage d'utilité, des chaînes de mesures ou de sécurités



communes... Toute modification doit ensuite faire l'objet d'un contrôle de la construction, ce qui a fait défaut dans le cas de l'accident de Flixborough.

Par ailleurs, une réparation provisoire n'est jamais justifiée, encore moins quand elle tend à devenir définitive.

Au-delà de la réduction des risques liés à des défaillances matérielles, la maintenance préventive organisée et planifiée, est toujours préférable à toute intervention réalisée dans l'urgence. De plus, le redémarrage d'une installation après incident ne devrait pas se faire sans une analyse préalable des causes ayant conduit à l'arrêt. Cet accident montre clairement **un défaut de gestion du retour d'expérience**, l'état des autres réacteurs n'ayant pas fait l'objet d'un examen alors que des fissures étaient déjà apparues.

La « théorie de la canalisation de 8 » repose sur le fait que 2 boulons d'une bride d'une conduite de cyclohexane aient été retrouvés desserrés. Les nombres de points de serrage et le couple de serrage des équipements sont des spécifications de sécurité importantes qu'il convient de ne pas négliger surtout quand le potentiel de danger présent est important comme dans le cas de l'usine de Flixborough.

La fissure du réacteur n°5, à l'origine de la séquence accidentelle, résulte d'une corrosion provoquée par l'arrosage du réacteur par de l'eau potable (chargée en nitrates) pour diluer des rejets de cyclohexane et limiter le risque d'inflammation. Toute procédure d'intervention devrait être préalablement étudiée et ses conséquences examinées avant d'être adoptée, car une intervention non-adaptée peut être source de risque.

### Autres enseignements techniques :

La plupart des conduites impliquées dans l'accident étaient sujettes à des fissures dues à une fragilisation causée par le zinc liquide (cf. annexe 2 du rapport de la commission d'enquête). Selon Cox, ce phénomène est même à l'origine de l'accident, par la rupture de la canalisation de 8". Des études ont montré que le phénomène de rupture de canalisations d'acier due au zinc peut se produire sous une température de 800 à 900 °C et une tension de 5,8 kg/mm<sup>2</sup> en quelques secondes. Les sources possibles de zinc recensées sont notamment les rambardees et escaliers galvanisés, les fils galvanisés de maintien de garnissage, le primaire de peinture...

Ainsi, lorsque du zinc est en présence d'équipements en acier sous pression, le moindre petit feu permettant d'atteindre une température de 800°C peut provoquer une fragilisation des équipements jusqu'à la rupture.

La fissure du réacteur n°5 montre que l'eau potable contient des nitrates qui peuvent être à l'origine de corrosion sous tension des aciers. En cas d'incendie nécessitant l'utilisation d'eau chargée en nitrate par exemple, il convient de vérifier l'intégrité des équipements en acier sous pression, une corrosion due au nitrate pouvant intervenir.

### Management, facteur humain :

Un défaut de personnel d'encadrement dans l'usine est l'une des causes de l'accident de Flixborough.

Du personnel bien formé, connaissant les dangers inhérents à l'exploitation de leur installation, ayant accès aux sources d'informations nécessaires comme les standards de conception ou les notices techniques des équipements, disposant de connaissances pluridisciplinaires ou sachant reconnaître leurs limites d'expertise pour demander conseil à des tiers plus spécialisés, est indispensable à la conduite en sécurité d'une installation dangereuse.

Seul un personnel compétent et expérimenté sera ainsi à même de reconnaître les signaux précurseurs d'accident (comme les fuites de cyclohexane qui « se colmatent d'elles-mêmes ») et de prendre les mesures nécessaires pour stopper la séquence accidentelle.

Par ailleurs, les installations doivent être conçues et exploitées de façon à ce que le personnel n'ait pas à faire un choix entre sécurité et productivité. Le but essentiel d'une entreprise étant de produire mais de produire en toute sécurité. Ici, la précipitation à redémarrer sous la pression économique a sans doute été un facteur déterminant de l'accident.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

---

[1] - COX J. (2005). Flixborough revisited. *IchemE, The Chemical Engineer, April*, 26-28.

[2] - COX J. (1976). Flixborough, Some Additional Lessons. *Chemical Engineering*, 387, 353-358.

[3] - LAGADEC P. (1981). Le risque technologique majeur. *Pergamon*, (pp. 29-44)

[4] - O'REILLY B.M. (1976). FLIXBOROUGH, The lessons to be learned. Lecture presented at World Safe 1976.



[5] - SECRETARY OF STATE FOR EMPLOYMENT. (1975). *The Flixborough Disaster*. London : HSMO.

[6] - SHINOHARA T., KOBAYASHI H. *Disaster of Chemical Plant at Flixborough*. <http://shippai.jst.go.jp/en>

[7] - VENART J.E.S. (2007). Flixborough: A final footnote. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 20, 621-643.

[8] - WHITTINGHAM R. B. (2004). The Blame Machine, Why Human Error Causes Accidents. *Elsevier Butterworth-heinemann*, (pp. 110-119).