

Explosion de gaz dans les unités craquage catalytique et gas plant d'une raffinerie

Le 9 novembre 1992

La Mède [Bouches du Rhône]
France

Explosion
UVCE
Gaz
Craqueur catalytique
Gas-plant
Canalisation
Rupture / Corrosion
Victimes
Dégâts matériels

LES INSTALLATIONS CONCERNÉES

Implantées depuis 1935 sur le site de La Mède, sur les communes de Châteauneuf-les-Martigues et Martigues, les installations concernées sont situées sur le bord sud de l'Étang de Berre à environ 40 km à l'ouest de Marseille.

Les rives de l'étang de Berre regroupent plusieurs sites classés Seveso. (cf. figure 1).

Au moment des faits, la raffinerie, occupant 250 hectares de la partie basse d'un vallon rocheux largement ouvert à l'Est, a une capacité annuelle de traitement de 6,6 millions de tonnes et emploie 430 personnes.

L'établissement dispose d'un Plan d'Opération Interne (P.O.I.) et fait l'objet d'un Plan Particulier d'Intervention (P.P.I.). Ces dispositifs sont régulièrement mis à jour et opérationnels.

L'accident survient dans l'unité de craquage catalytique en lit fluidisé (CR3) d'une capacité de 4 800 tonnes.

L'opération de craquage casse les molécules lourdes des distillats atmosphériques et sous-vide et les transforme en produits plus légers et mieux valorisables comme certaines essences et diluants. Réalisée à une température voisine de 500°C sous une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique, cette opération permet de produire des essences, du gazole et des gaz, mais également des produits lourds et du coke qui se dépose sur le catalyseur.

Ce dernier est donc régénéré en continu par combustion au moyen d'une injection d'air.

Les gaz incondensables servent de combustible. L'unité cryogénique installée à la sortie de ces gaz, mise en service en 1986, permet de récupérer la presque totalité du butane et du propane qu'ils contiennent. (cf. figure 2)

L'unité gas-plant, mise en service en 1953 et située en aval du FCC, permet de fractionner les gaz (fonctionnement à 290°C sous 20 bars) en différentes coupes (C1 à C4).

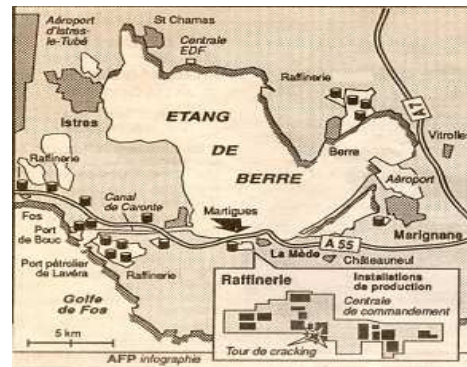


Figure 1 - Situation géographique du site

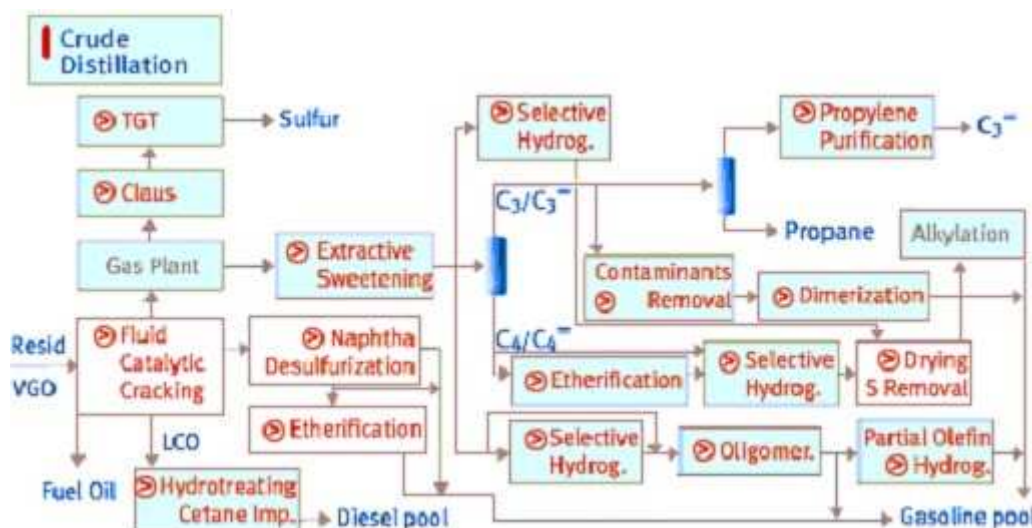


Figure 2 - Schéma de principe du craqueur catalytique

L'ACCIDENT, SON DEROULEMENT, SES CONSEQUENCES

L'accident :

Le lundi 9 novembre 1992 à 05h20, une violente explosion à l'air libre est ressentie jusqu'à 30 km autour du site.

Les différents évènements s'enchaînent selon la chronologie suivante :

- Entre 04h00 et 05h19 : Les unités sont en marche stable : des employés quittent la raffinerie sans détecter de situation anormale.
- Un peu avant 05h20 : Une fuite massive en phase gazeuse se produit au niveau du gas-plant. Un explosimètre à proximité d'une pompe détecte la fuite au seuil de 20% de la LIE et déclenche une alarme sonore en salle de contrôle.
- A 05h20 : Une explosion retentit suivie d'un embrasement au niveau des unités gas-plant et cryogénie.
- Entre 05h30 et 06h00 : Par effets domino directs et indirects, de nouvelles explosions se produisent et le feu se propage aux installations voisines. Deux réservoirs proches prennent feu, ainsi que 2 racks de canalisations d'hydrocarbures liquides et gazeux. Les premiers secours arrivent et le directeur de la raffinerie déclenche le POI. A 05h48, le Plan Rouge et la phase de pré-alerte du PPI sont activés par le Préfet.
- Entre 06h00 et 09h50 : Les secours s'organisent et le PC est opérationnel dès 07h00 dans les locaux de la Préfecture.
- A 09h50 : En raison du rayonnement thermique, l'incendie s'aggrave sur un réservoir contenant un mélange soude usée / essence et une dernière explosion se produit.
- A 13h00 : Le feu est maîtrisé. Cependant, le réseau de torche étant partiellement endommagé, les pompiers décident de laisser brûler sous contrôle quelques foyers afin d'éviter toute propagation de gaz non enflammé et formation de nuage, les unités se décompressant ainsi en moindre risque.

Les actions conduites se limitent à la surveillance des 2 foyers maintenus sur le site (sur des tuyauteries) pour achever le dégazage de l'unité détruite et à la protection des opérateurs assurant la neutralisation des installations dans les zones à risques.

Les premiers soins aux victimes de l'équipe de quart sont apportés par les pompiers de la raffinerie en attendant les renforts provenant des sites proches classés Seveso. Au total, plus d'une centaine de sapeurs-pompiers des Bouches-du-Rhône et des départements voisins (Gard, Var et Vaucluse) interviendront pour venir à bout du sinistre.

Des moyens d'extinction très importants sont mis en oeuvre : plusieurs dizaines de camions et fourgons-pompes, près de 150 000 l d'émulseurs utilisés.

L'organisation et la direction des secours sont mises en place selon la configuration prévue au POI.

Au cours de l'après-midi, les effectifs de sapeurs pompiers du département se désengagent progressivement. Sur le site, seuls les pompiers de l'établissement restent en action et ceux des établissements voisins en alerte jusqu'au lendemain 12h00.

Les conséquences :

Le bilan humain définitif fait état de 6 morts et d'un blessé grave parmi le personnel de la raffinerie; 37 autres personnes, dont 2 sapeurs-pompiers, sont légèrement blessées. Les victimes se situent pour la plupart dans la salle de contrôle qui a été détruite lors des explosions (cf. figure 3).

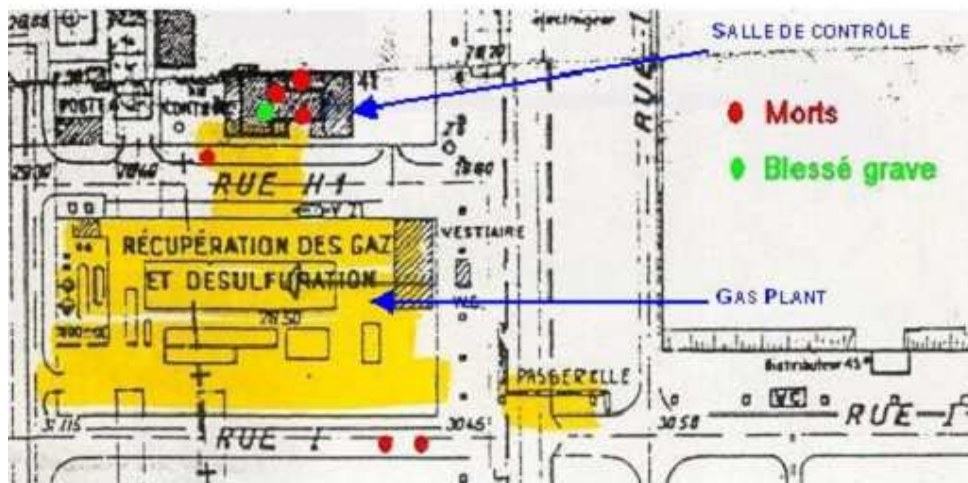


Figure 3 - Disposition des victimes

Les installations de la raffinerie sont dévastées à la suite des explosions successives et des incendies sur près de 2 hectares autour du craqueur n°3; en particulier, la salle de contrôle commune au craqueur et à l'ensemble des unités associées, la section gas-plant ainsi que les installations de fractionnement de propylène accolées à la section cryogénique sont sévèrement touchées. Des bris de vitres importants sont constatés dans un rayon de 1 km autour du site, et ponctuellement jusqu'à 8 km. Des dommages sont observés à des toitures d'édifices bâtis à quelques centaines de mètres du site sur les communes de Martigues et Châteauneuf-les-Martigues.



Figure 4 - Vue sur la salle de contrôle à 09h00



Figure 5 - Vue sur la section cryogénique

Les dégâts les plus importants liés à l'incendie se situent directement sur les installations gas-plant, cryogénie, sur les tuyauteries situées à proximité et sur le réservoir de gazole lourd proche B20 dont le toit fixe a été arraché par l'effet de surpression de l'explosion. Le réservoir C24, dont la mission principale est de recevoir les soudes usées provenant des unités nécessitant un lavage des essences à la soude, a été fortement endommagé en partie supérieure malgré la présence d'un merlon de protection sur les 2/3 de sa hauteur. Au moment du sinistre, le réservoir C24 contenait 1 700 m³ du mélange soude/hydrocarbures légers. La robe du bac A38 a également connu quelques dégâts suite à l'incendie.



Figure 6 - Vue sur le bac B20

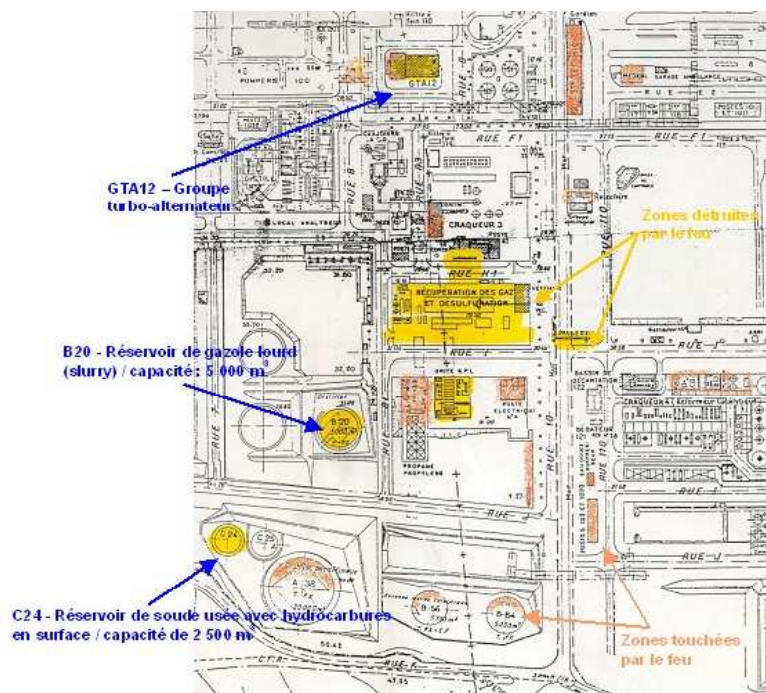


Figure 7 - Illustration des zones sinistrées

Les surfaces touchées par le feu sont :

- Secteurs Gas-Plant + Cryogénie : environ 4 000 m².
- Groupe turboalternateur GT A12 : 600 m².
- Réservoir B20 : 450 m².
- Réservoir C24 : 200 m².
- Racks de tuyauteries : surface difficilement appréciable.

L'onde de choc engendrée par la première explosion, dans ses 2 phases successives, brise les structures (surpression-impulsion positive) puis aspire les structures légères (dépression - phase négative). L'explosion elle-même est accompagnée d'une pluie de débris, dont certains retombent jusqu'à 135 m de leur emplacement initial (cas du carénage d'un aéro-réfrigérant pesant 340 kg). Ses effets dominos directs résultants sont responsables de la rupture et de la ruine de canalisations diverses, de la rupture de la structure métallique du groupe turboalternateur GT A12 et de l'incendie en découlant et de l'incendie des bacs B20 et C24.

Les explosions annexes à la première proviennent d'effets dominos indirects. En effet, certaines canalisations fragilisées par l'effet mécanique et/ou thermique de l'explosion initiale se rompent et engendrent de nouvelles explosions.



Figure 8 - Installations détruites par l'explosion

Le bilan des pollutions sur l'environnement est faible. En effet, la plus grande partie des eaux utilisées pour éteindre le sinistre et refroidir les unités sont collectées dans les bassins d'orage de la raffinerie. La capacité de rétention est de 30000 m³. Les eaux huileuses seront ensuite traitées dans la station d'épuration du site, avant d'être rejetées dans le canal de Marseille au Rhône.

Les barrages flottants installés sur l'Étang de Berre et les différents canaux présents autour du site ont permis de limiter les conséquences du sinistre sur les eaux superficielles avoisinantes.

En ce qui concerne la pollution atmosphérique, le réseau de surveillance de la qualité de l'air autour de l'Étang de Berre n'enregistre pas d'augmentation significative et durable de la concentration des polluants atmosphériques contrôlés, à savoir le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), les hydrocarbures, l'ozone (O₃) et les poussières.

Au final, le sinistre n'a pas eu de conséquence significative sur l'environnement.

Le coût estimé des dommages matériels engendrés par ce sinistre est évalué à plus de 230 millions d'euros. Ce coût provient essentiellement des conséquences des effets dominos apparus lors de la catastrophe.

Le site redémarrera progressivement et partiellement ses activités en début d'année suivante, soit moins de 3 mois après la catastrophe, après obtention de l'autorisation préfectorale délivrée sur proposition de l'inspection des installations classées.

Echelle 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', l'accident peut être caractérisé par les 4 indices suivants, compte-tenu des informations disponibles.

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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conséquences environnementales		<input 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 composant ces indices et le mode de cotation correspondant sont disponibles à l'adresse suivante : www.aria.developpement-durable.gouv.fr.

La valeur 4 de l'indice "Matières dangereuses relâchées" correspond à un équivalent TNT compris entre 5 et 50 t (bris de vitres généralisés constatés dans un rayon de 1 km autour du site – paramètre Q2).

Les 6 opérateurs décédés au cours du sinistre justifient le niveau 4 de l'indice "Conséquences humaines et sociales" (paramètre H3).

La valeur 6 attribuée à l'indice "Conséquences économiques" caractérise les 230 millions d'euros de dommages matériels recensés (paramètre €15).

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

Une fuite massive en phase gazeuse suivie d'un allumage rapide en contact avec un point chaud serait probablement à l'origine du sinistre.

On peut classer l'étendue des dommages en 3 zones plus ou moins affectées dans l'enceinte de la raffinerie :

- zone sinistrée
- zone d'expertise faisant l'objet de contrôles particuliers
- zone de faible exposition sans dommage constaté

Sur la base des constatations effectuées dans ces différentes zones et grâce aux multiples témoignages recueillis, les experts concluent à une explosion brisante de type UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion) ou explosion en milieu non confiné. Les effets d'un UVCE sont essentiellement des effets mécaniques (souvent très importants même à grande distance de l'épicentre), qui résultent des ondes de pression produites par l'explosion et des effets thermiques dus à la flamme de l'explosion.

Les calculs de la masse d'hydrocarbures gazeux concernés (méthode empirique dite de l'« équivalent T.N.T. », basée sur l'observation des dégâts engendrés par le pic de surpression de l'explosion) ont montré qu'au minimum 5 tonnes d'un mélange léger (coupe en C3/C4 – mélange propane, butane et propylène) avaient été mises en jeu. Cette masse réagissante peut être majorée pour tenir compte des masses non brûlées et des masses enflammées sans déflagration. Ainsi, les expertises évaluent entre 6 et 12 tonnes la masse d'hydrocarbures gazeux impliquée dans l'accident.

L'observation des dommages dans le champ proche (rayon inférieur à 30 m) et dans le champ plus lointain confirme qu'à la faveur des confinements partiels (sol très encombré), l'UVCE a détoné localement. La vitesse de l'explosion a été évaluée à plus de 2 000 m/s.

L'explosion du nuage de gaz a nécessité un point d'ignition. L'examen précis des différents points chauds, postes électriques et autres fours a permis de se focaliser sur le four F301 du craqueur catalytique. En effet, des traces de feu sous ce four et sur l'extérieur uniquement d'un coffret électrique confirment qu'il y a eu incendie en ces points avant explosion. De plus, ce phénomène corrobore des témoignages recueillis qui indiquent un effet de mèche (propagation d'un « flash », d'un « éclair »), du four vers la rue I (rue séparant le gas-plant de la cryogénie). Ainsi, l'épicentre de l'explosion se situe certainement dans cette zone où les dégâts sont aussi les plus prononcés.

Sur les 41 scénarii d'accident envisagés par l'enquête, 29 ont rapidement été abandonnés suite à de simples constats et 9 ont été déclarés peu probables après inspection visuelle des experts. Il reste 3 scénarii possibles dont 2 privilégiés :

- l'ouverture d'une brèche sur une canalisation de transport de charge de gas-plant présentant des signes de corrosion.
- la rupture d'un piquage de petit diamètre situé sur le bras mort de cette même canalisation.

Après analyse, la canalisation en question appartient à la première tour du gas-plant du craqueur n°3, la tour DA101. Cette tour dite "absorbeur-strippueur" reçoit toute la production de produits légers (gaz et essence légère) de la réaction de craquage. Le débit de fonctionnement était de 110 t/h au moment de l'accident. La tour de fractionnement DA 101

fonctionne à une température de service de 40 °C en viron et sous une pression de 10 bars relatifs. Elle se compose de 3 parties :

- 1 strippeur inférieur qui est chargé de débarrasser ou "stripper" des gaz légers le mélange essence légère + GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié : propane + butane).
- 1 absorbeur primaire qui, pour empêcher que ces gaz n'entraînent trop de GPL, les lave à l'essence et absorbe le propane et le butane.
- 1 absorbeur secondaire; placé en tête de colonne, il effectue le dernier lavage des gaz avec un produit plus lourd que l'essence.

La réaction d'absorption dégageant de la chaleur, un réfrigérant à eau (EA 103) dans lequel circule le mélange essence + GPL, évacue les calories produites.

C'est sur la tuyauterie de retour d'environ 20 cm de diamètre (8 pouces) de ce réfrigérant qu'ont été mises en évidence :

- un piquage de diamètre 2,5 cm environ (1 pouce) cassé à ras du bossage de la tuyauterie (figure 9).
- une fissure dentelée en génératrice inférieure du by-pass de l'échangeur EA 103, de 80 x 20 cm (figure 10). Sur la tuyauterie, une saignée de corrosion généralisée est constatée sur la génératrice inférieure avec diminution importante de l'épaisseur (présence en milieu humide d'hydrogène sulfuré favorisant la fragilisation du métal).



Source : Exploitant

Figure 9 - Piquage 1 pouce



Figure 10 – By-pass 8 pouces

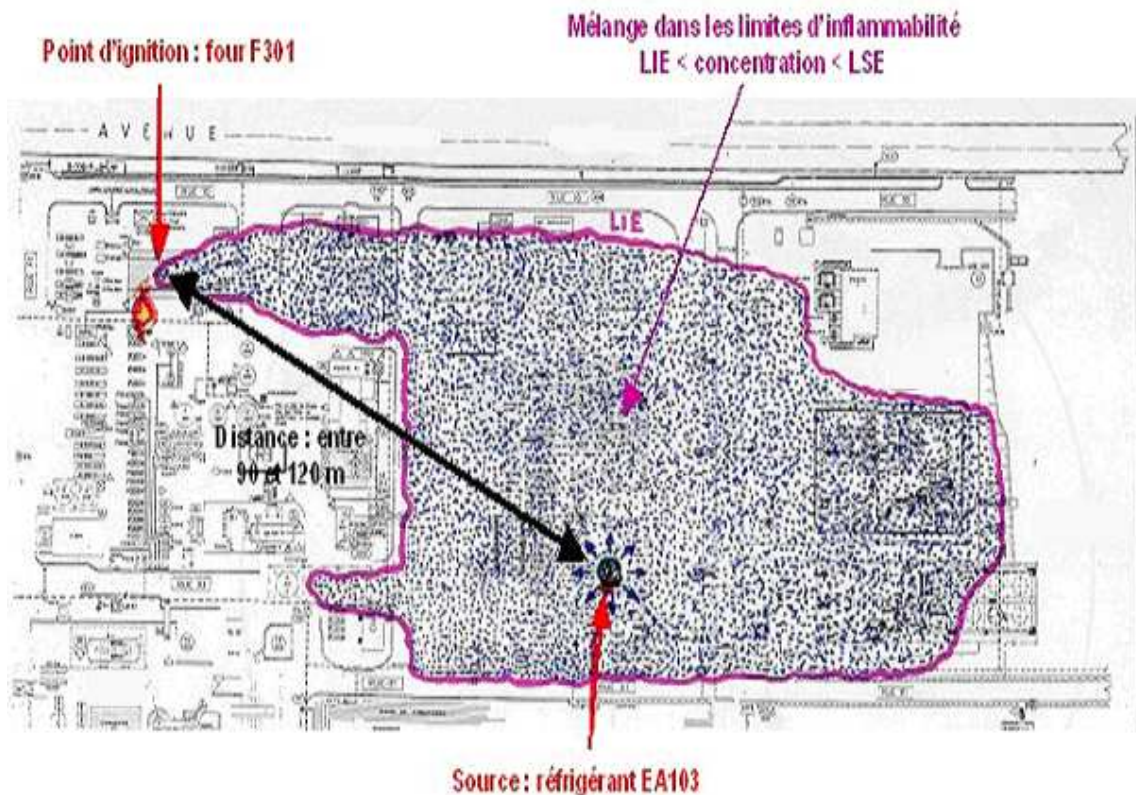


Figure 11 - Schématisation de la propagation du nuage de gaz

L'expertise démontre que la brèche sur la canalisation a permis de relâcher une quantité de 12 tonnes de gaz en environ 10 minutes contre 5 tonnes par le trou du piquage, dont environ le tiers seulement de ces quantités se vaporise. Le trou du piquage n'est donc pas suffisant pour permettre de vaporiser la masse de gaz nécessaire à l'accident (quantité supérieure à 5 tonnes). La brèche dans cette tuyauterie semble donc être à l'origine du sinistre.

Le nuage de gaz présente un volume total (hydrocarbures gazeux + air comburant) d'environ 70 000 m³, recouvre une surface d'environ 14 000 m² et présente une hauteur variant vraisemblablement entre 4 m (zones de la cryogénie, du fractionnement de propylène et du four F301) et 6 m pour la zone du gas-plant.

Trois phases successives peuvent être distinguées dans le déroulement de la première explosion, les autres résultant d'effets dominos.

- Le « flash » initial se propage avec une cinétique faible, de l'ordre de 5 à 12 m/s. Il n'y a pas ni effet de souffle notable, ni surpression tant que le front de flammes ne rencontre pas d'obstacles. La surface concernée est de l'ordre de 3300 m². Le volume inflammable représente quant à lui près de 13 500 m³. Cette première phase peut être comparée à une fonction de mèche.
- La seconde phase est un phénomène de déflagration. La présence d'un gradient de concentration en gaz au sein du nuage, de turbulences liées aux différents obstacles et du confinement partiel vont faire évoluer la déflagration lente en une déflagration rapide (vitesse évaluée à 200 m/s environ) et ainsi précipiter le phénomène d'UVCE. La surpression générée par la déflagration est faible, de l'ordre de 0,6 bar. La surface concernée par ce phénomène est de l'ordre de 7 200 m². Le volume inflammable représente près de 44 000 m³, contenant environ 3,6 tonnes d'hydrocarbures gazeux.
- Enfin, l'onde de choc émergeant du gas-plant favorise la compression des gaz frais situés dans l'unité de cryogénie et, amplifiée par des phénomènes locaux de focalisation et de réflexion, génère localement une ou plusieurs détonations (vitesse > 330 m/s). La masse du nuage mis en jeu à ce niveau est relativement faible (moins de 200 kg d'hydrocarbures gazeux). Des ondes sphériques supersoniques sont venues interagir avec l'avancée du phénomène de déflagration rapide provenant du gas-plant. La rencontre a probablement eu lieu au niveau de la rue I, zone désignée comme épigénètre de l'explosion. Les surpressions engendrées sont de l'ordre de 2 à 3 bars. La surface concernée est évaluée à environ 3 400 m². Le volume inflammable représente près de 13 500 m³.

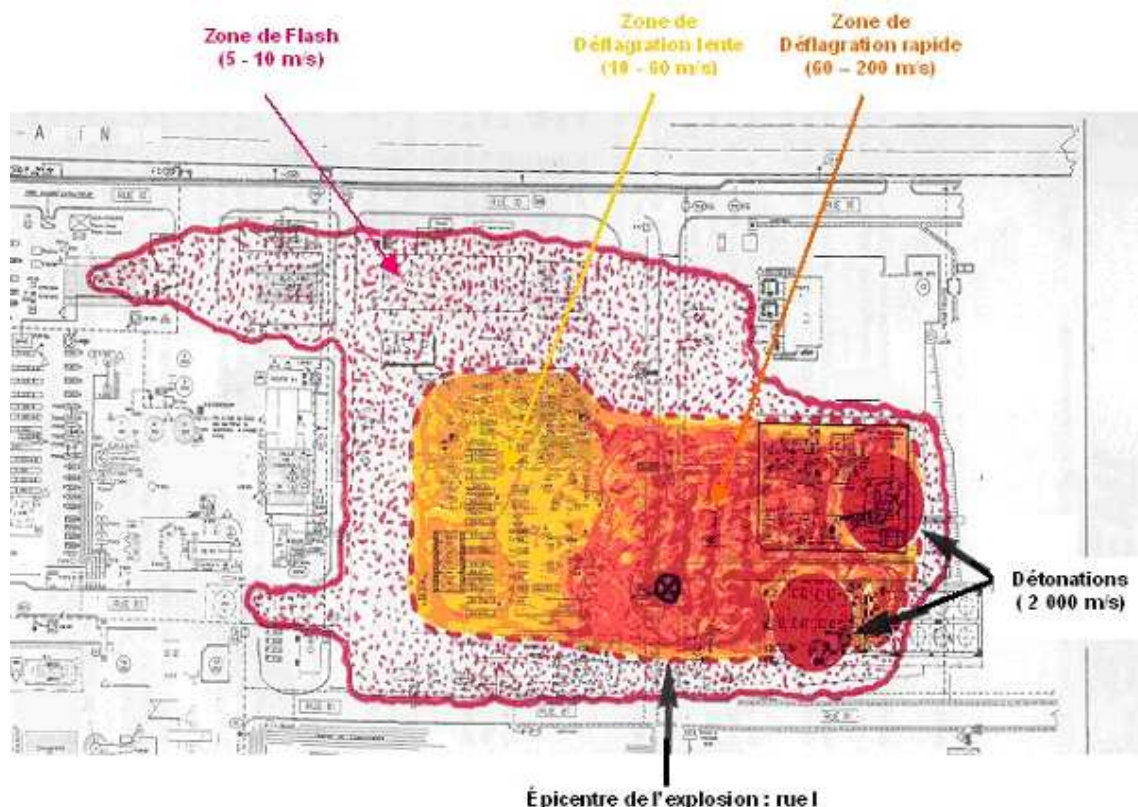


Figure 12 - Illustration des différentes phases de l'explosion

En résumé, il semble que le nuage de gaz formé suite à la fuite par la brèche de la canalisation de la tour DA 101 a dérivé quelques minutes pour s'allumer à une distance d'environ 100 m au contact du four F301; le nuage s'est alors enflammé sur sa frange, peu concentrée et proche de la LIE. Le feu est remonté vers le centre du nuage où il existe des zones plus concentrées en hydrocarbures, et dans une zone de concentration proche de la stœchiométrie, le phénomène explosif d'UVCE s'est emballé.

LES SUITES DONNÉES

A la suite de l'accident, 3 commissions d'enquêtes (technique, administrative et judiciaire) sont diligentées et des rapports d'expertises rédigés. L'instruction met en évidence des défaillances dans le contrôle et l'entretien des installations industrielles de la raffinerie, dont certaines étaient vétustes et non conformes aux normes.

Près de 9 ans après la catastrophe, le procès s'ouvre le 29 janvier 2002 au tribunal correctionnel d'Aix-en-Provence. Le 24 avril 2002, sept salariés de la société exploitante, dont trois anciens dirigeants, sont condamnés à des peines de prison avec sursis allant de 4 à 18 mois et à des amendes, dont les montants s'échelonnent entre 1 500 et 4 500 €.

La raffinerie est remise en service dans son intégralité en juillet 1994, soit 21 mois après la catastrophe. Les études et travaux menés sur le site pour reconstruire la partie sinistrée (installation d'une nouvelle unité de traitement des gaz) et moderniser le craqueur ont duré 18 mois. L'ensemble des chantiers a représenté près de 2 millions d'heures de travail et nécessité un effectif moyen de 1 000 personnes par an. L'objectif principal de la reconstruction et de la modernisation a été de renforcer le niveau de prévention et de limitation des risques potentiels (sécurité des installations et du personnel) par :

- l'augmentation du nombre de détecteurs de gaz; ils ont été placés au plus près des sources potentielles d'émission afin de repérer les fuites le plus rapidement possible.
- l'installation de réseaux d'eau pulvérisée sur les zones dites « sensibles ».
- des investigations quant à la tenue des salles de contrôles aux effets de surpression. La nouvelle salle a été construite en type bunker pour résister aux ondes de choc ; elle bénéficie d'un poste de conduite centralisé, conçu avec des ergonomes, qui met à la disposition de l'équipe de quart toutes les informations concernant le fonctionnement des unités et des moyens de réglage.
- la mise en place d'automates gérant les systèmes de sécurité complétant ces dispositifs.

En outre, des programmes de contrôles périodiques des canalisations ont été instaurés.

LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS

L'analyse complète de cet accident permet de tirer un certain nombre d'enseignements de nature à pouvoir faire évoluer les règles de l'art dans l'industrie du raffinage.

Les principaux concernent:

- la localisation et les critères de construction des salles de contrôle: implantation à privilégier hors des zones sensibles des unités, conception prenant en considération les effets thermiques et de surpression (constructions de type "blast proof" ou "blast résistant");
- le renforcement du dispositif réglementaire relatif à la construction, au suivi et aux contrôles périodiques en marche et à l'arrêt des canalisations d'usine et de leurs accessoires;
- l'aménagement général des sites et des unités: éloignement des unités les unes des autres pour réduire les effets dominos, création de zones sans obstacle pour réduire la cinétique de propagation des ondes de surpression et permettre la préservation des moyens de sécurité (localisation des moyens de secours internes,...) et des utilités (lignes de torche, chaudières, réseau d'eau incendie canalisations de vapeur et d'azote,...) en cas d'accident ;
- l'encombrement des unités: outre la contribution à la réduction de la cinétique en cas de phénomène de type UVCE, un aménagement soigné facilite les interventions et les opérations de maintenance de surveillance et de contrôle des équipements et accessoires;
- l'efficacité des mesures de limitation des risques: nombre, localisation, étalonnage et fiabilité des détecteurs de gaz ;
- le renforcement et la sécurisation des moyens de communication internes et externes
- le développement du dialogue avec la presse et les autres acteurs locaux en dehors des périodes de crise.

Sur le plan de l'intervention, la mise en œuvre des secours a globalement bien fonctionné tant dans le cadre du P.O.I. que dans la phase de pré alerte du P.P.I. Ces plans, connus et testés avant l'accident par les différents acteurs des secours, ont contribué à l'efficacité et à la bonne coordination des secours. Ces résultats confirment l'utilité de former et d'informer le personnel concerné sur ces plans et de porter à la connaissance de chacun par des exercices conjoints exploitants/secours extérieurs la configuration des installations et le risque qui leur est propre.