



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

**Mise sous talus ou sous terre des
réservoirs contenant des
hydrocarbures liquides
inflammables**

Rapport final

Direction des Risques Accidentels

Septembre 2001

Mise sous talus ou sous terre des réservoirs contenant des hydrocarbures liquides inflammables

Rapport final

Septembre 2001

PERSONNES AYANT PARTICIPE A L'ETUDE

P. KUKUCZKA
 B. GIOVANNINI
 M. CAUMONT
 F. VARIN

Ce document comporte 38 pages (hors couverture et annexes)

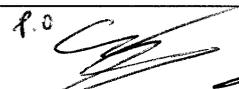
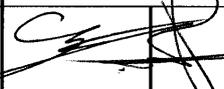
	Rédaction		Vérification		Approbation
NOM	P. Kukuczka	M. Caumont	B. Giovannini	F. Varin	B. Faucher
Qualité	Ingénieur DRA	Délégué tierce expertise DRA	Ingénieurs DRA		Directeur des Risques Accidentels
Visa					

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	4
2	TYPLOGIE DES RÉSERVOIRS DE LIQUIDES INFLAMMABLES.....	5
2.1	REMARQUES GÉNÉRALES	5
2.2	TYPLOGIE DES RESERVOIRS CONTENANT DES LIQUIDES INFLAMMABLES.....	5
2.2.1	<i>Réservoirs aériens</i>	6
2.2.2	<i>Réservoirs « recouverts »</i>	6
2.2.2.1	Réservoirs souterrains en caverne	7
2.2.2.2	Réservoirs en enrochement	7
2.2.2.3	Réservoirs enterrés	8
3	RÉGLEMENTATION	9
3.1	LE CLASSEMENT DES LIQUIDES INFLAMMABLES.....	9
3.2	LES DIFFÉRENTS TEXTES APPLICABLES.....	10
3.2.1	<i>Textes applicables au régime de la déclaration</i>	10
3.2.2	<i>Textes applicables au régime de l'autorisation</i>	11
4	RETOUR D'EXPÉRIENCE.....	13
4.1	RÉSULTATS DU RECENSEMENT ET COMMENTAIRES	14
4.2	ANALYSES STATISTIQUES	15
4.3	LA BASE DE DONNÉES VICTOR	16
4.3.1	<i>Cas général</i>	17
4.3.2	<i>Cas des raffineries</i>	19
4.4	TYPLOGIE DES ACCIDENTS	21
4.5	ENSEIGNEMENTS TIRÉS.....	21
4.5.1	<i>Analyse des causes</i>	22
4.5.2	<i>Analyse des scénarios</i>	23
4.5.3	<i>Analyse de gravité</i>	24
5	ECONOMIE DU RÉSERVOIR SOUS TALUS	25
5.1	HISTORIQUE	25
5.2	AU PLAN SÉCURITÉ.....	25
5.3	AU PLAN DES SCÉNARIOS D'ACCIDENTS POSSIBLES	26
5.4	AU PLAN DE L'URBANISATION.....	27
5.5	AU PLAN DE LA RÉSISTANCE DES STRUCTURES.....	29
5.6	AU PLAN DES VOLUMES DE MATÉRIAU À METTRE EN OEUVRE	30
6	INFLUENCE DE LA MISE SOUS TALUS SUR LES SCÉNARIOS D'ACCIDENT	33
6.1	FEU DE NAPPE.....	34
6.2	U.V.C.E.	35
6.3	EXPLOSION DU CIEL GAZEUX.....	36
6.4	POLLUTION ACCIDENTELLE	36
6.5	BOILOVER	37
7	SYNTHÈSE.....	38

1 INTRODUCTION

La présente étude entre dans le cadre des Prestations pour l'Administration effectuées par l'INERIS en appui à l'Administration. Elle fait suite à une demande exprimée par le Service de l'Environnement Industriel (S.E.I.) du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (M.A.T.E.).

La protection par recouvrement de terre est une pratique courante utilisée depuis plusieurs années en France mais aussi dans bon nombre de pays européens pour protéger les réservoirs de produits dangereux. Elle concerne principalement les réservoirs contenant des Gaz Inflammables Liquéfiés (G.I.L.) et plus particulièrement les Gaz de Pétrole Liquéfiés (G.P.L.), mais aussi les hydrocarbures liquides. Si dans le cas des G.I.L. les réservoirs sont le plus souvent posés sur le sol puis recouverts d'une couche de terre (sous talus) ou d'un matériau équivalent, dans le cas des hydrocarbures liquides les réservoirs sont enterrés (c.à.d placés sous le niveau naturel du sol). Pour ces derniers il s'agit de réservoirs de faibles capacités, c'est à dire de quelques centaines de mètres cube de capacité au plus. Cette technique est principalement mise en œuvre dans les installations de distribution de carburants (stations services par exemple) mais aussi sur les sites industriels (stockage de combustibles, ...).

Dans tous les cas, mise sous talus ou enfouissement, le recouvrement des réservoirs permet une bonne protection de ceux-ci vis-à-vis des agressions thermiques et mécaniques.

Par ailleurs, le recouvrement des réservoirs de G.I.L. permet de s'affranchir des scénarios accidentels les plus pénalisants les concernant et, en conséquences de limiter grandement les distances d'effet d'éventuels accidents. Les zones de maîtrise de l'urbanisation qui peuvent en découler sont elles aussi largement diminuées et corrélativement les emprises foncières au sol.

Aussi fort de l'expérience acquise avec les réservoirs de G.I.L. et les réservoirs d'hydrocarbures liquides de petites capacités, le S.E.I. s'interroge sur la pertinence d'une généralisation d'une telle technique pour protéger les réservoirs de grandes capacités contenant des liquides inflammables tels que les réservoirs de raffineries ou encore ceux des dépôts pétroliers par exemple qui sont tous des réservoirs aériens verticaux.

Pour répondre à cette question, nous avons :

- recensé les différentes typologies de réservoirs contenant des liquides inflammables ainsi que les systèmes qui leurs sont associés sur la base du retour d'expérience relatif à ce sujet,
- examiné si la technique de recouvrement des réservoirs (enterré ou sous talus), en elle-même, comporte ou engendre des difficultés particulières,
- précisé les caractéristiques auxquelles les réservoirs neufs ou existants devront répondre pour qu'ils puissent être recouverts.

Enfin, l'objectif de cette étude étant de répondre aux interrogations d'une D.R.I.R.E. (Direction des Risques Industriels et de l'Environnement), nous mettrons en évidence, dans une synthèse suivie d'une conclusion, quels sont les avantages ou les inconvénients que ce mode de protection pourrait engendrer.

2 TYPOLOGIE DES RESERVOIRS DE LIQUIDES INFLAMMABLES

2.1 REMARQUES GENERALES

Le parc français de réservoirs contenant des liquides inflammables est sans doute constitué de plusieurs milliers voire de plusieurs dizaines de milliers de réservoirs. Plusieurs types de réservoirs de stockage sont utilisés. Chaque type est défini par sa taille, sa forme, ses conditions de stockage (atmosphériques ou autres...) et sa structure.

Ces réservoirs sont présents sur pratiquement tous les types de sites :

- ◆ Industriels : raffineries, dépôts pétroliers, usine pétrochimique, chimique ou agro-alimentaire, etc,
- ◆ Tertiaires : principalement pour les chaufferies et, le cas échéant, pour les besoins en carburant des véhicules,
- ◆ Stations services : pour satisfaire au besoin en carburant des moyens de transport,
- ◆ Privés : pour les utilisations domestiques telles que le chauffage, la production d'eau sanitaire ou la cuisson.

L'entreposage de liquides inflammables se justifie pour diverses raisons. Il peut s'agir d'un stockage intermédiaire entre la production et la distribution, d'un stockage de matières premières (additifs, solvants...) ou d'un stockage qui répond à des besoins énergétiques sur le site.

Dans la suite de cette étude, nous nous efforcerons de reprendre différents types de réservoirs de grande capacité contenant des liquides inflammables afin de préciser le sujet. Il s'agira essentiellement des réservoirs rencontrés dans les dépôts pétroliers ou dans les raffineries. Les réservoirs enterrés des stations service ainsi que les réservoirs domestiques sont exclus du champ de cette étude.

2.2 TYPOLOGIE DES RESERVOIRS CONTENANT DES LIQUIDES INFLAMMABLES

Indépendamment de la technologie des réservoirs, on peut distinguer dans le parc français des grands réservoirs contenant des liquides inflammables :

- les réservoirs « aériens », c'est à dire ceux dont la robe et le toit sont à l'air libre,
- les réservoirs « recouverts » qui sont ceux dont la robe et le toit sont protégés de leur environnement direct par des éléments de construction spécifiques supplémentaires tels que caverne, enrochement ou enfouissement.

Ces deux catégories de réservoirs sont présentées succinctement dans les paragraphes suivants.

2.2.1 Réservoirs aériens

Ceux-ci représentent la très grande majorité du parc de réservoirs de grande capacité contenant des liquides inflammables. Lorsqu'ils sont aériens, ils sont le plus souvent métalliques et verticaux :

- métalliques, c'est à dire que leurs fonds, leurs robes et leurs toits sont en acier,
- verticaux, c'est à dire que leur axe de symétrie est vertical.

Fonction des caractéristiques des liquides inflammables stockés, il y a lieu de distinguer deux technologies de réservoirs aériens :

- les réservoirs à toit flottant,
- les réservoirs à toit fixe.

Les réservoirs à toit flottant sont toujours des réservoirs de grande taille et leur capacité peut atteindre et dépasser les cent mille mètres cubes. Ils sont de règle pour le stockage du pétrole brut en raffinerie ou en dépôt. Leur particularité réside dans le fait que ce type de réservoir est constitué de deux éléments indépendants, d'une part la robe et le fond du réservoir qui sont soudés l'un à l'autre, et d'autre part, le toit qui flotte sur la surface libre du produit, l'étanchéité entre le toit et la robe étant assurée par un joint. Dans ce cas, le toit du réservoir monte et descend à l'intérieur de la robe en suivant les variations de volume du produit.

Les réservoirs à toit fixe sont constitués d'un seul ensemble soudé comprenant le fond, la robe et le toit. Les capacités de ce type de réservoirs peuvent atteindre plusieurs dizaines de milliers de mètres cube. La famille des réservoirs à toit fixe peut elle-même être subdivisée en différentes sous catégories tels que les réservoirs avec ou sans écran interne, les réservoirs calorifugés et réchauffés.

Les réservoirs à toit fixe et écran interne flottant sont principalement destinés au stockage des produits à faible point éclair, la présence de l'écran limitant fortement l'évaporation du produit. Ces types de réservoirs conviennent parfaitement pour le stockage des essences en réservoir de grandes capacités.

Lorsque les quantités stockées sont faibles ou que les produits stockés sont peu volatils, les réservoirs utilisés ne sont généralement pas dotés d'écran interne.

Les produits très peu volatils sont stockés dans des réservoirs à toit fixe de petite capacité (quelques milliers de mètres cubes au plus). Ces réservoirs sont calorifugés et même réchauffés pour éviter la prise en masse des produits stockés.

L'annexe 1 fournit l'essentiel des données complémentaires relatives aux réservoirs aériens nécessaire à la compréhension de cette étude.

2.2.2 Réservoirs « recouverts »

Les réservoirs de grande capacité « recouverts » contenant des liquides inflammables représentent en France une partie infime du parc de réservoirs. Plusieurs raisons ont déterminé les exploitants à recourir à cette technique que l'on rencontre principalement dans les zones militaires ou chez certains pétroliers.

Trois types de réservoirs « recouverts » peuvent être identifiés :

- réservoirs souterrains en caverne,
- réservoirs en enrochement,
- réservoirs enterrés.

Les réservoirs recouverts contenant des liquides inflammables sont très peu nombreux et représentent une infime partie du parc des réservoirs contenant des liquides inflammables. Deux raisons principales ont poussé au recouvrement des réservoirs :

- ◆ Les besoins de défense qui ont amené les autorités à protéger certains réservoirs des agressions extérieures et notamment des bombes et obus. Les réservoirs concernés sont ceux de la défense nationale ou appartenant à certains dépôts pétroliers stratégiques. Ces réservoirs contiennent des hydrocarbures liquides et peuvent être de très grande taille (capacité de plusieurs milliers de mètres cubes).
- ◆ La limitation des emprises foncières qui est réduite lorsque les réservoirs sont enterrés. Cela se pratique beaucoup pour les réservoirs de stations service par exemple, mais aussi pour les réservoirs de petites dimensions implantés en site industriel. La capacité de ces réservoirs qui sont le plus souvent des réservoirs horizontaux, varie de quelques mètres cubes à quelques centaines de mètres cubes au plus. Ce sont des réservoirs de petite capacité qui ne font pas partie du domaine de cette étude.

A la connaissance de l'I.N.E.R.I.S., les réservoirs de grande capacité recouverts et contenant des liquides inflammables sont toujours dédiés au stockage d'hydrocarbures liquides et principalement au stockage de carburants. De ce fait, lorsque les réservoirs sont verticaux, il s'agit toujours de réservoirs de type à toit fixe muni ou non d'un écran interne. Si les réservoirs sont horizontaux, ils ne possèdent pas d'écran interne.

2.2.2.1 Réservoirs souterrains en caverne

Le principe consiste à placer le réservoir dans une caverne aménagée pour la circonstance. Dans le cas étudié, la voûte de la caverne est en béton et d'une épaisseur de l'ordre d'un mètre. Elle est recouverte de plusieurs mètres de remblais. L'objectif de sécurité dévolu à la protection « caverne » est dans ce cas, dicté par des préoccupations de sécurité militaire, c'est à dire la protection contre les effets mécaniques (de surpression et de missiles).

2.2.2.2 Réservoirs en enrochement

Dans ce cas, les réservoirs se trouvent situés au sein d'une cuvette construite en excavation - le terme couramment utilisé est : « en enrochement » - dont les parois sont maçonnées contre le rocher.

Les cuvettes sont ensuite recouvertes d'une voûte de béton dont l'épaisseur peut être supérieure au mètre. Un tel aménagement peut concerner un réservoir ou un groupe de réservoir. Là encore, l'objectif de protection est dicté par des préoccupations de sécurité militaire.

2.2.2.3 Réservoirs enterrés

Lorsque les réservoirs sont enterrés, ceux-ci ont la particularité d'être d'axe horizontal et de forme torique. Ils sont métalliques le plus souvent, mais peuvent être aussi réalisés directement en béton. Lorsqu'ils sont en béton, l'épaisseur de la paroi peut être supérieure à 1 mètre. Dans ce cas, ce sont les impératifs de sécurité militaire qui dictent l'épaisseur de la paroi.

3 REGLEMENTATION

3.1 LE CLASSEMENT DES LIQUIDES INFLAMMABLES

Les installations de stockage de liquides inflammables sont visées par la rubrique n° 1432 de la nomenclature des installations classées, qui remplace l'ancienne rubrique n° 253. Cette rubrique classe les installations de stockage sous le régime de la déclaration (D) ou de l'autorisation (A) suivant la capacité équivalente de l'installation. Pour déterminer cette dernière, il faut se référer à la rubrique n°1430 qui répartit les liquides inflammables en quatre catégories en leur attribuant des coefficients. D'autre part, il existe trois seuils différents pour les Servitudes d'Utilité Publique (AS) suivant la capacité réelle de l'installation : les seuils de 50 tonnes et de 5000 tonnes pour respectivement les produits de la catégorie A et le méthanol (ces seuils correspondent aux seuils de la directive SEVESO 2), alors que le seuil de 10 000 tonnes pour les produits de la catégorie B est inférieur au seuil haut de la directive (50 000 tonnes). En dessous des seuils de classement ICPE, les installations de stockage sont visées par une autre réglementation relevant du ministère chargé de l'industrie.

Le contenu des rubriques n° 1430 et 1432 est présenté ci-dessous.

Extrait de la nomenclature

Désignation de la rubrique	A, D, S
n° 1430 - Liquides inflammables (définition), à l'exclusion des alcools de bouche, eaux de vie et autres boissons alcoolisées	
Les liquides inflammables, quelle que soit leur nature, sont répartis en quatre catégories conformément aux définitions ci-après. Le point d'éclair est déterminé suivant les modalités techniques définies par l'A.F.N.O.R. et conformément aux spécifications administratives éventuellement applicables. Le régime de classement d'une installation est déterminé en fonction de la "capacité totale équivalente" exprimée en capacité équivalente à celle d'un liquide inflammable de la 1 ^{ère} catégorie, selon la formule :	

$$C \text{ équivalente totale} = 10A + B + \frac{C}{5} + \frac{D}{15}$$

où

A représente la capacité relative aux liquides extrêmement inflammables (coefficient 10) : oxyde d'éthyle, et tout liquide dont le point d'éclair est inférieur à 0°C et dont la pression de vapeur à 35°C est supérieure à 10⁵ pascals

B représente la capacité relative aux liquides inflammables de la 1^{ère} catégorie (coefficient 1) : tous liquides dont le point d'éclair est inférieur à 55°C et qui ne répondent pas à la définition des liquides extrêmement inflammables

C représente la capacité relative aux liquides inflammables de 2^{ème} catégorie (coefficient 1/5) : tout liquide dont le point éclair est supérieur ou égal à 55°C et inférieur à 100°C, sauf les fuels lourds

D représente la capacité relative aux liquides peu inflammables (coefficient 1/15) fuels (ou mazout) lourds tels qu'ils sont définis par les spécifications administratives.

Nota : En outre, si des liquides inflammables sont stockés dans la même cuvette de rétention ou manipulés dans le même atelier, ils sont assimilés à des liquides de la catégorie présente la plus inflammable.

Si des liquides sont contenus dans des réservoirs en fosse ou en double enveloppe avec système de détection de fuite ou assimilés, les coefficients visés à la rubrique n° 1430 sont divisés par 5.

Hors les produits extrêmement inflammables, les liquides inflammables réchauffés dans leur masse à une température supérieure à leur point d'éclair sont assimilés à des liquides inflammables de 1^{ère} catégorie.

Extrait de la nomenclature

Désignation de la rubrique	A, D, S
n° 1432 - Liquides inflammables (stockage en réservoirs manufacturés de)	
A) lorsque la quantité stockée de liquides inflammables visés à la rubrique 1430 susceptible d'être présente est :	
1) supérieure à 50 t pour la catégorie A	AS
2) supérieure à 5000 t pour le méthanol	AS
3) supérieure à 10 000 t pour la catégorie B	AS
B) stockage de liquides inflammables visés à la rubrique 1430	
1) représentant une capacité équivalente totale supérieure à 100 m ³	A
2) représentant une capacité équivalente totale supérieure à 10 m ³ mais inférieure ou égale à 100 m ³	D

Quelques exemples de liquides inflammables tels que défini par la rubrique n° 1430 illustrent le propos.

Catégorie A : Isopentane, Oxyde d'éthyle

Catégorie B : Essences, Kérosène, Acétone, Méthanol

Catégorie C : Fuel domestique, Gazole

Catégorie D : Fuel Lourd, Mazout

3.2 LES DIFFERENTS TEXTES APPLICABLES

3.2.1 Textes applicables au régime de la déclaration

Deux arrêtés définissent les dispositions auxquelles doivent satisfaire les installations de stockage de liquides inflammables soumises à déclaration. Ils sont présentés ci-après.

Arrêté déclaration n° 253

Il s'agit d'un modèle d'arrêté qui a servi pour la réalisation des arrêtés préfectoraux dans chacun des départements. A terme, ces arrêtés préfectoraux seront remplacés par un arrêté ministériel d'application nationale, visant l'ensemble des installations classées soumises à déclaration au titre de la rubrique n° 1432.

Arrêté du 22 juin 1998

Cet arrêté vise à la fois les installations soumises à déclaration et celles à autorisation. Cet arrêté vise les réservoirs enterrés de liquides inflammables ainsi que leurs équipements annexes (canalisation, limiteur de remplissage,

évent). Il fixe principalement des prescriptions en matière de prévention des pollutions des sols et des eaux car ce type d'installations, sujet à corrosion, présente des risques importants en cas de fuite.

Principales dispositions de l'arrêté du 22 juin 1998 :

- *mise en place, pour les installations nouvelles, de réservoirs à double enveloppe avec système de détection de fuite ou de réservoirs présentant des garanties équivalentes (réservoirs simple paroi dans une fosse maçonnée étanche par exemple) ;*
- *remplacement ou transformation en double enveloppe des réservoirs à simple paroi enfouis avant le 31 décembre 2010 ;*
- *mise en place, pour les installations nouvelles, de canalisations à double paroi ou à simple paroi protégées contre la corrosion ;*
- *mise en oeuvre de contrôles d'étanchéité périodiques pour les réservoirs et canalisations simple paroi. Ces contrôles sont réalisés par des organismes agréés.*

3.2.2 Textes applicables au régime de l'autorisation

Ces installations sont encadrées par différents textes, dont certains, antérieurs à la création du ministère de l'Environnement (1971), émanent du ministère de l'Industrie.

Arrêté du 4 septembre 1967 relatif aux règles d'aménagement et d'exploitation des usines de traitement du pétrole brut, de ses dérivés et résidus

Ce texte spécifique aux raffineries de pétrole a été complété par quelques arrêtés et circulaires. Relativement aux stockages d'hydrocarbures liquides, il fixe des règles de construction, d'aménagement et d'exploitation qui ne sont pas différentes de celles prescrites pour les dépôts.

Règles d'aménagement et d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquides définies par les arrêtés du 9 novembre 1972 et du 19 novembre 1975

Ces textes fixent des règles de construction, d'aménagement et d'exploitation qui servent toujours de référence mais dont certaines prescriptions en matière de prévention du risque incendie et de pollution des eaux ont été abrogées par les textes présentés ci-après.

Circulaire et instruction technique du 9 novembre 1989

Cette circulaire et l'instruction technique associée ont rendu plus sévères certaines prescriptions des arrêtés de 1972 et 1975 suite au retour d'expérience de certains accidents aux conséquences importantes (notamment l'accident de Port Edouard Herriot le 2 juin 1987). Ces textes visent tous les dépôts d'une capacité supérieure à 1500 m³.

Principales dispositions :

- *des distances d'éloignement par rapport aux tiers basées sur des calculs d'effets d'incendie et d'explosion. Les zones Z1 et Z2 ainsi déterminées doivent donner lieu à la mise en oeuvre de procédures de maîtrise de l'urbanisation autour des dépôts (modification du P.O.S. ou institution d'un P.I.G. notamment) ;*
- *des moyens d'intervention (eau, émulseur) en quantité suffisante pour l'extinction des feux de liquides inflammables ;*
- *la mise en place de dispositifs de sécurité (vannes de pied de bac à sécurité positive, détecteurs d'hydrocarbure par exemple) ;*
- *l'étanchéité et la tenue au feu des cuvettes de rétention et des merlons ou murets.*

Circulaire du 06 août 1998

Cette circulaire précise les conditions dans lesquelles des dispositions alternatives à celles de l'article 17 de l'instruction technique du 09 novembre 1989 (mise en place de vannes à sécurité positive) peuvent être mises en oeuvre dans les raffineries.

Circulaire du 06 mai 1999

Cette circulaire, signée par la ministre chargée de l'environnement et par le ministre chargé de l'intérieur, présente une méthodologie pour déterminer les quantités nécessaires en eau et en émulseur pour l'extinction des feux de liquides inflammables. Elle complète et abroge partiellement l'article 12 de l'instruction du 09 novembre 1989.

Arrêté du 22 juin 1998 (réservoirs enterrés)

Cet arrêté vise à la fois les installations soumises à déclaration et celles à autorisation. Il a été présenté précédemment.

4 RETOUR D'EXPERIENCE

L'objectif de ce chapitre est de dégager une typologie des accidents caractéristiques des réservoirs de stockage d'hydrocarbures liquides. Une telle analyse a déjà réalisée dans le cadre d'une prestation antérieure de l'I.N.E.R.I.S. Le document « Observation et évaluation des dispositifs de prévention des pollutions et des risques autour des réservoirs implantés en raffinerie¹ » en constituait la synthèse. L'analyse présentée ci-après reprend l'essentiel du chapitre 2 « Recensement des accidents ».

Dans le cadre de cette étude, trois bases de données européennes publiques ont été interrogées :

- La base de données FACTS du T.N.O. a été consultée en s'adressant directement au service gestionnaire de celle-ci à Apeldoorn. La clef d'interrogation utilisée a été "accidents at oil refineries and storage tanks > 10 000 m³". Le résultat de cette interrogation a fait l'objet d'un rapport référencé TN097j et présenté sous la forme d'une liste accompagnée d'une disquette.

Pour mémoire, cette base de données regroupe les données concernant plus de 20 000 accidents relatés par des sources diverses. Dans le cadre de notre recherche, 24 cas ont correspondu au critère susmentionné. Ils couvrent une période allant de 1952 à 1994.

- La base de données MHIDAS du H.S.E. a été interrogée avec la clef "Hydrocarbon(s) and Storage or liquid(s) or tank(s)" au travers du serveur de l'Agence Spatiale Européenne par les services de la bibliothèque de l'I.N.E.R.I.S. Le résultat fourni se présente sous la forme d'une liste MHI97J comportant des références internes à la base, plusieurs champs codés et une brève description de l'accident.

Cette base de données comporte un certain nombre d'accidents choisis par des ingénieurs à partir de données publiques. Les causes qui y sont mentionnées ne sont pas issues d'investigations du HSE. Cinq cas correspondant au critère ci-dessus ont été recensés sur une période allant de 1974 à 1991.

- Enfin, la base de données ARIA du B.A.R.P.I. a été consultée en s'adressant directement à ce service. Les attentes et objectifs de cette mission ont pu être précisés au correspondant chargé de ce travail de façon telle qu'un tri préalable des données a été effectué par ce service.

ARIA est une base de données, créée en 1993, qui centralise les données relatives aux accidents, pollutions graves et incidents significatifs survenus dans les installations susceptibles de porter atteinte à l'environnement, à la sécurité ou la santé publique. Elle compte plus de 10 000 événements répertoriés. Une vingtaine de cas ont été extraits de cette base BAR97J.

Pour les deux premières bases de données susmentionnées, il convient de noter qu'il a été nécessaire de rechercher la clef d'interrogation la plus adaptée compte tenu des termes propres à ces bases.

¹ Etude intitulée « Observation et évaluation des dispositifs de prévention des pollutions et des risques autour des réservoirs implantés en raffinerie » Ministère de l'Environnement/D.P.P.R. Union Française des Industries Pétrolières – I.N.E.R.I.S. – 15 décembre 1997

Les informations issues de ces trois bases de données publiques généralistes ont été complétées par l'interrogation de la base de données VICTOR du groupe Elf Aquitaine (devenu TotalFinaElf), base à usage privé. Celle-ci dédiée aux métiers de ce groupe industriel comporte plusieurs sous-bases dont l'une d'entre elles concerne les stockages et recense 396 accidents. Par le biais d'une restriction aux hydrocarbures liquides, nous avons pu obtenir une liste de 278 cas VIC97J traités dans un sous-chapitre spécifique.

Les informations fournies par la base de donnée VICTOR se présentent sous la forme de fiches descriptives. Dans le cas présent, la personne chargée de l'exploitation de cette base nous a fourni l'ensemble des accidents survenus au sein de stockages d'hydrocarbures liquides.

Outre ces différentes bases de données, les divers ouvrages ou revues ont été consultés :

- Loss Prevention Bulletin
- Loss Prevention (Recueils de 1 à 13 sauf 6 et 9)
- Loss Prevention in the Process Industries (Franck P. LEES)
- Plant Operation Progress
- Fire Protection Manual for Hydrocarbons Processing Plants
- Handbuch Stdrfälle
- BOILOVER - Propension de certains hydrocarbures à développer ce phénomène. Quantification déterministe des effets/conséquences
- Rapport Journée Professionnelle 01/96

Ces ouvrages ou revues comportent des descriptions d'accident. A ce titre, dans le cadre d'une démarche systématique, ils ont fait l'objet d'une consultation afin d'obtenir éventuellement des descriptions techniques détaillées.

Des rapports d'accident ont également pu être consultés avec le même objectif :

- H.S.E.
- D.R.I.R.E.

Enfin, un contact a été établi avec la société Williams - Fire and Hazard Control, Inc, société spécialisée, aux U.S.A. et dans le monde entier, dans les interventions sur accidents mettant en cause des hydrocarbures WI96J.

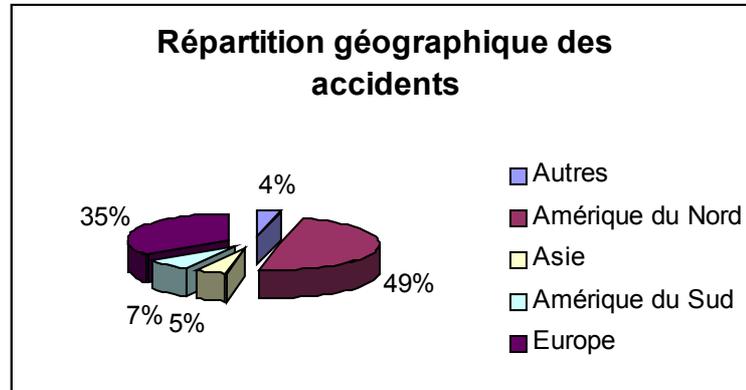
4.1 RESULTATS DU RECENSEMENT ET COMMENTAIRES

La base de données VICTOR est traitée dans un chapitre spécifique et le résultat de sa consultation n'apparaît pas dans les statistiques de ce sous chapitre.

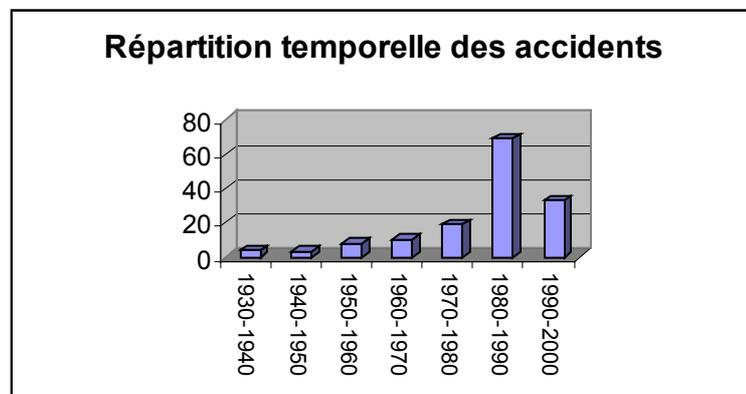
Il apparaît que les enregistrements disponibles dans les bases de données se recoupent sur quelques accidents, se complétant parfois. Lors de la consultation de certaines bases de données, les premiers résultats concernant les dépôts d'hydrocarbures faisaient état de quelques centaines accidents. Cependant, dans le cadre de cette mission, nous ne nous sommes intéressés ni aux stations-service, ni aux stockages chez des particuliers. En final, quelques 150 accidents intéressant les réservoirs d'hydrocarbures liquides ont été retenus.

4.2 ANALYSES STATISTIQUES

En regardant de façon générale l'ensemble de ces accidents, des premières constatations quant à leurs répartitions géographique et temporelle peuvent être faites.

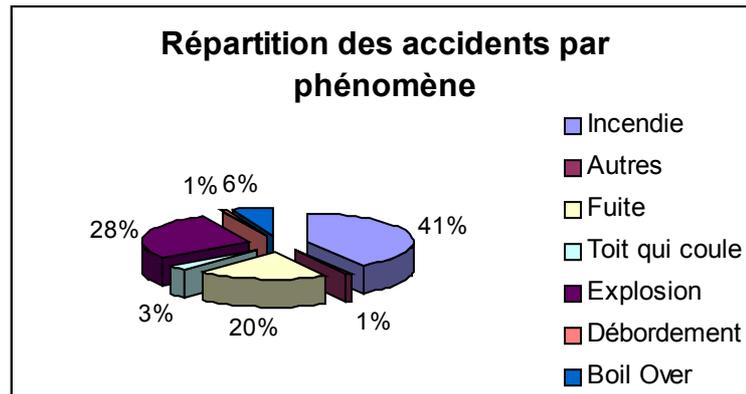


La répartition géographique des accidents traduit pour une large part la disponibilité des informations relatives aux accidents. On remarquera toutefois, la proportion très importante des accidents ayant eu lieu en Europe ou en Amérique du Nord en regard des accidents survenus dans les autres régions du monde. Les accidents survenus dans les pays du Moyen-Orient ou en Russie sont rangés dans la catégorie autres. Il est à noter que leur nombre est limité ce qui traduit le caractère non exhaustif de ce recensement : un certain nombre d'accidents ayant probablement eu lieu sans qu'aucun rapport, que ce soit par les médias ou les organismes nationaux, n'ait été publié.



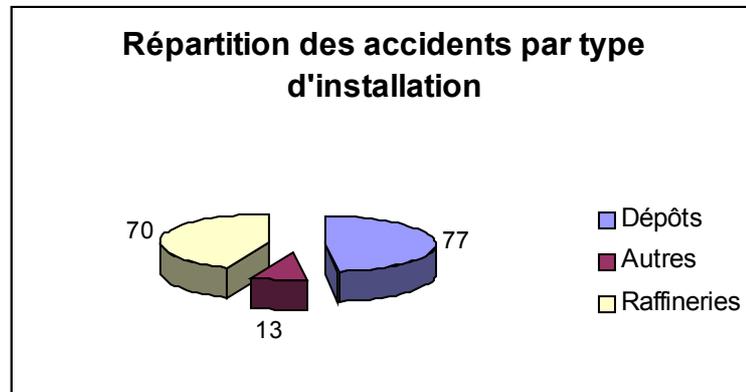
Concernant la répartition temporelle, la figure ci-dessus représente l'évolution du nombre d'accidents par décennie. Près de 50 % des accidents recensés se sont produits entre 1980 et 1990. A cela, deux réponses possibles : soit, il y a eu plus d'accidents durant cette période, soit ils ont été plus facilement rendus publics. Cette deuxième hypothèse semble être la plus vraisemblable du fait des échanges croissants d'informations. La décennie 1990-2000 ne peut être comparée aux autres car celle-ci était en cours au moment de l'étude et les informations sont généralement disponibles quelques années après le sinistre.

D'autre part, l'analyse des événements a permis de préciser quels étaient les accidents les plus fréquemment rencontrés. Cet aspect est illustré par la figure suivante. Le phénomène reporté est le phénomène majeur constaté lors de l'accident (pour un débordement suivi d'un incendie, ce type d'accident est agrégé à la catégorie incendie).



Nous remarquons ainsi que les deux événements principaux sont l'incendie et l'explosion, phénomènes par ailleurs régulièrement associés. En ce qui concerne les toits qui coulent, il s'agit de toits flottants de réservoirs qui, pour une raison quelconque, sombrent en laissant l'hydrocarbure à l'air libre. Ce type d'événement relativement peu fréquent, nécessite une action rapide des pompiers afin d'isoler l'hydrocarbure de l'air et prévenir ainsi tout risque d'inflammation.

Les accidents recensés sont survenus dans différentes installations : raffinerie, dépôt ou encore stockage chez les industriels utilisateurs comme l'illustre la figure ci-dessous. Néanmoins, il y a lieu de garder présent à l'esprit que les réservoirs à toit flottant sont caractéristiques de l'industrie pétrolière et qu'ils sont présents exclusivement en dépôt pétrolier et raffinerie, principalement pour le stockage du pétrole brut.



4.3 4.3 LA BASE DE DONNEES VICTOR

La base de données VICTOR a été analysée de façon séparée dans la mesure où elle recense de nombreux accidents qui concernent des installations ayant une plus grande homogénéité technologique que l'échantillon précédent qui, par sa nature, s'intéressait plus particulièrement aux accidents majeurs.

Cette base de données recense les accidents survenus, à travers le monde, dans les industries exerçant le même métier que le du groupe TotalFinaElf. Elle comporte plusieurs sous-bases, dont une concerne les stockages d'hydrocarbures liquides. Celle dernière contenait, en avril 1997, 396 enregistrements d'accidents dont 278 cas étaient relatifs aux stockages d'hydrocarbures liquides. Les informations fournies par la base de données VICTOR se présentent sous la forme de fiches descriptives. Dans le cas présent, la

personne chargée de l'exploitation de cette base nous a fourni l'ensemble des accidents survenus au sein de stockages d'hydrocarbures liquides.

La recherche a été effectuée à partir des deux clés suivantes : "Stockages" et "Hydrocarbures liquides". Elle nous a permis de recenser 278 accidents. Ceux-ci n'ont certes pas tous eu lieu au sein de dépôts et nous avons élargi le champ d'investigation de façon à couvrir le plus grand nombre de scénarios possibles. Chaque accident est présenté sous la forme d'une fiche signalétique regroupant, entre autres, les informations suivantes :

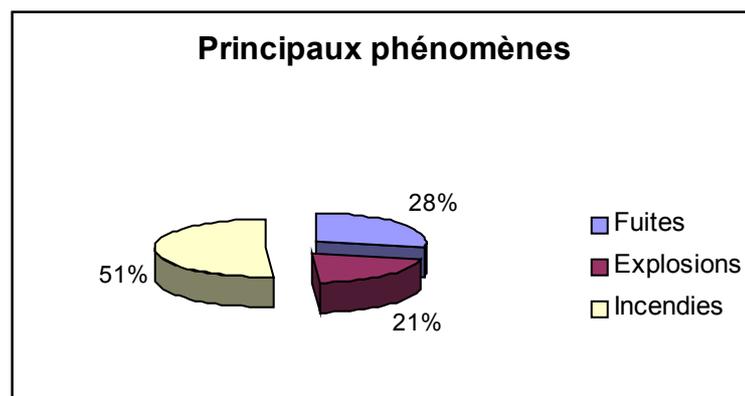
- Lieu (en général le pays, la ville étant parfois mentionnée dans le résumé)
- Événement (Explosion, Incendie, Fuite, ...)
- Équipement mis en cause
- Opération qui avait lieu au moment de l'accident
- Cause
- Conséquence
- Produit

En revanche les fiches ne mentionnent pas le type d'établissement auquel appartient le stockage (raffinerie, dépôt pétrolier, autre). Parfois ces fiches proposent un petit résumé et indiquent les sources d'informations (Presse, Assurance, G.E.S.I.P., Revues diverses, ...).

Divers classements en fonction des événements, causes, opérations ou équipements ont été effectués. Les résultats sont repris partiellement ci-dessous sous forme de graphiques commentés.

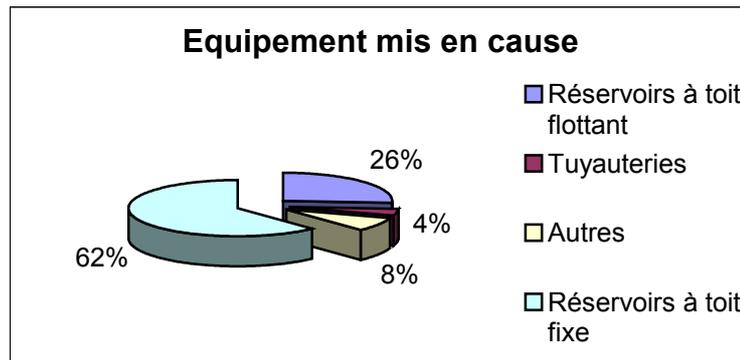
4.3.1 Cas général

Près de 86 % des accidents affectant des réservoirs d'hydrocarbures liquides, soit 239 accidents sur 278, ont donné lieu à un incendie, une fuite ou une explosion. La répartition entre ces phénomènes, présentée en figure ci-dessous, est sensiblement identique à celle déjà constatée à partir des autres sources.



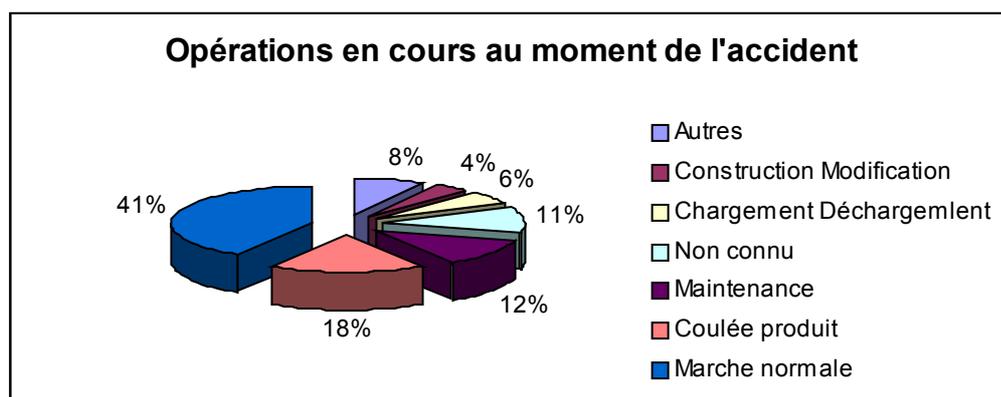
A noter que le phénomène d'explosion correspond essentiellement à l'explosion de la phase gazeuse des réservoirs à toit fixe.

Un accident, même s'il se généralise parfois à tout un parc de stockage, a en général pour origine un équipement précis. La nature des équipements en cause est reportée sur la figure suivante.



Cette figure met en évidence la prépondérance des accidents affectant les réservoirs à toit fixe. De plus, le nombre d'accidents survenus sur des réservoirs calorifugés et réchauffés implantés en raffinerie, qui sont tous des réservoirs à toit fixe, semble important.

Au-delà du type d'événements et d'équipements généralement mis en cause, la figure ci-dessous présente la répartition quant aux circonstances, et aux opérations en cours au moment de l'accident.



Cette figure fait apparaître qu'une majorité des accidents recensés surviennent lors du fonctionnement "normal" (noté marche stable sur les fiches accident) des installations ou lors d'opérations habituelles d'exploitation. Toutefois, les éléments mis à notre disposition ne permettent pas de faire ressortir les événements "anormaux" qui sont sans doute apparus lors de ces opérations dites "normales" et qui ont permis la réalisation de l'accident.

Qu'ils soient implantés en raffinerie ou en dépôt, l'étude statistique des accidents affectant les réservoirs d'hydrocarbures liquides montre que ces équipements peuvent être affectés des mêmes maux.

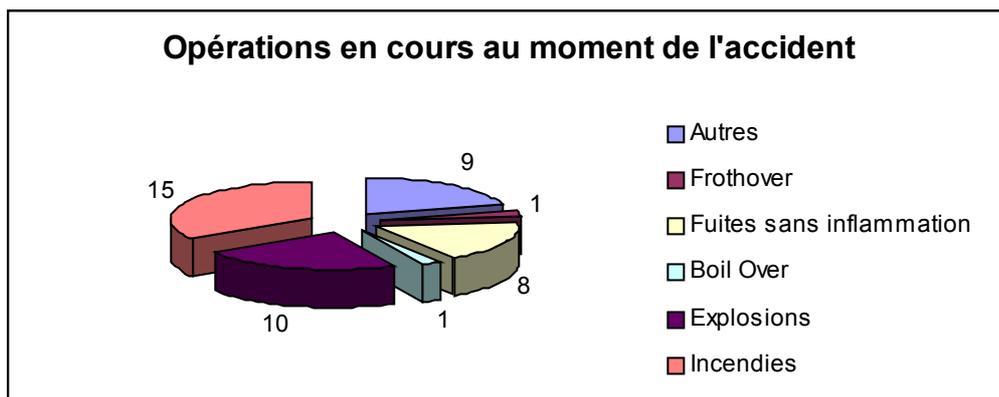
En conclusion, l'étude statistique des résultats de la base de données VICTOR confirme ceux préalablement obtenus à partir d'autres sources. Elle permet aussi de souligner le fait que l'équipement en cause est principalement le réservoir et dans une moindre mesure ses équipements associés. Peu d'événements mettent directement en cause des vannes situées en pied de réservoir. Lorsque cela est le cas les causes sont soit une erreur opératoire soit un défaut d'étanchéité de l'équipement.

Une typologie des accidents a été définie au sous-chapitre 4.1. Quelques accidents pour illustrer cette typologie sont présentés au sous-chapitre 4.4, en nous attachant plus particulièrement à en dégager les principaux enseignements notamment ceux en relation avec les objectifs de cette étude.

4.3.2 Cas des raffineries

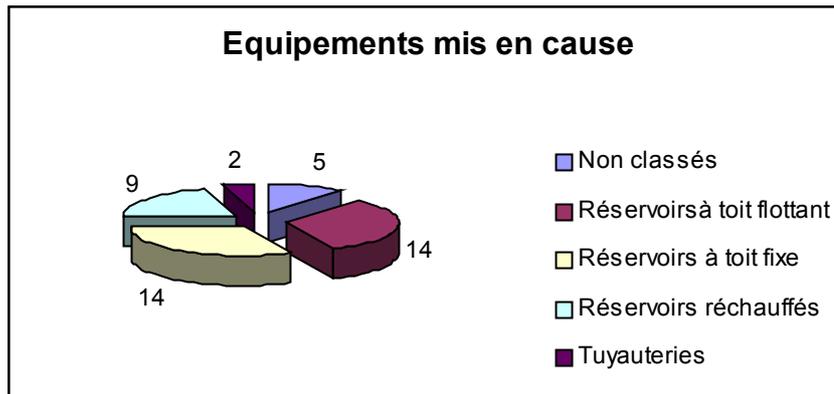
Parmi les 278 fiches d'accidents survenus sur des stockages d'hydrocarbures liquides, 70 concernent des réservoirs d'hydrocarbures liquides appartenant à un stockage en raffinerie. Cependant, la lecture des compte rendus d'accident et l'absence d'éléments complémentaires ne nous permettent pas d'exploiter dans le paragraphe qui suit plus de 44 de ces accidents soit 63 % de l'échantillon raffinerie.

Si l'on s'intéresse aux phénomènes, la figure suivante montre que les incendies sont les plus fréquents alors que les explosions et les fuites non enflammées représentent environ le même nombre d'événements. Il est à noter la survenance d'un boil over ainsi que d'un frothover. Quant à la catégorie «autres», celle-ci regroupe diverses causes d'endommagement ou de ruine des réservoirs comme, par exemple, la déformation par mise en vide sur des réservoirs réchauffés.



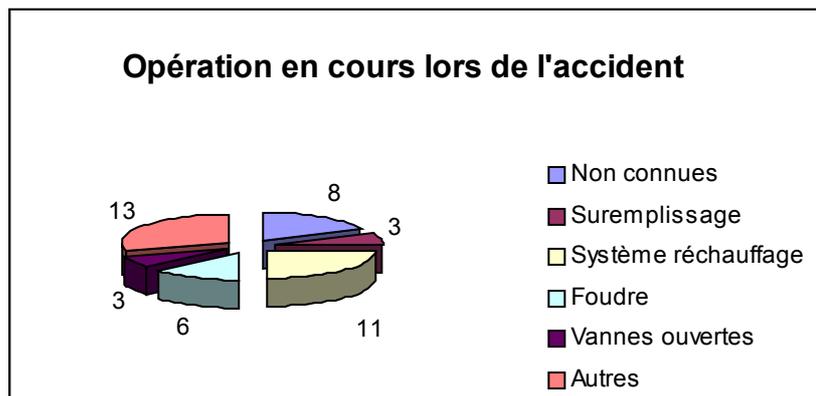
Pour ce qui concerne les équipements mis en cause, la figure ci-dessous, montre que les réservoirs à toit fixe sont les équipements les plus souvent impliqués même si sur le graphique, les réservoirs réchauffés (et calorifugés) qui sont généralement des réservoirs à toit fixe forment une catégorie particulière. Ce traitement particulier des réservoirs réchauffés trouve sa justification dans le fait que ces accidents concernant ce type d'équipement sont dus pratiquement en totalité au système de réchauffage que ces réservoirs contiennent.

La figure ci-dessous, présentant les causes des accidents, illustre le propos précédent relatif



aux réservoirs réchauffés. De plus, cette figure fait apparaître un nombre conséquent d'accidents dont l'origine est la foudre (6 sur 44).

Enfin, les suremplissages de réservoirs comme les vannes laissées ouvertes (3 événements pour chaque) constituent les deux dernières causes génériques d'accidents sur le réservoirs de raffinerie.



Qu'ils soient implantés en raffinerie ou en dépôt, l'étude statistique des accidents affectant les réservoirs d'hydrocarbures liquides montre que ces équipements peuvent être affectés des mêmes maux. Seules particularités cependant, le nombre d'accidents survenus sur des réservoirs calorifugés et réchauffés implantés en raffinerie semble important. Toutefois, ce phénomène est sans doute à mettre en relation avec la population plus importante en raffinerie de réservoirs de ce type.

4.4 TYPOLOGIE DES ACCIDENTS

De l'ensemble des accidents consultés, la typologie est présentée ci-après pour les réservoirs à toit flottant ainsi que pour ceux à toit fixe. Elle est établie en considérant l'événement final ou l'enchaînement des événements précurseurs immédiats.

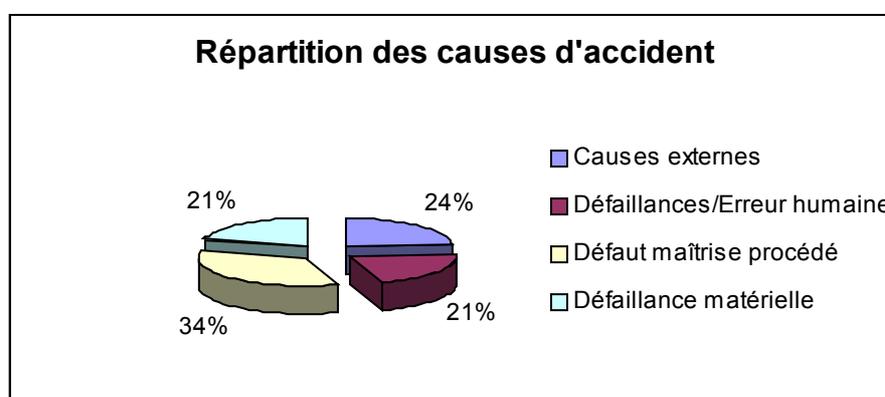
- Réservoir (bac) à toit flottant
 - Feu de joint
 - Perte du toit flottant
 - Perte du toit flottant et incendie du réservoir
 - Boil over
 - Rupture du réservoir au niveau de la robe
 - Rupture du réservoir à sa jonction robe/fond
 - Rupture ou fuite du fond du réservoir
 - Explosion du réservoir
 - Rupture de ligne
- Réservoir (bac) à toit fixe
 - Débordement du réservoir
 - Boil over (explosion ciel réservoir, suivi d'un incendie puis d'un Boil over)
 - Rupture du réservoir au niveau de la robe
 - Rupture du réservoir à sa jonction robe/fond
 - Rupture ou fuite du fond du réservoir
 - Explosion du ciel gazeux du réservoir (O₂)
 - Débordement de bac

4.5 ENSEIGNEMENTS TIRES

Le recensement des accidents et leur traitement statistique ont permis de faire ressortir différents éléments concernant la nature des accidents les plus fréquemment rencontrés. Il est cependant nécessaire de les nuancer éventuellement, en fonction de leur ancienneté. En effet, un accident doit être resitué dans son contexte et en particulier son contexte technologique. Dans notre cas, la technologie des réservoirs a peu évolué au cours des dernières décennies. Il en va de même pour les équipements, à l'exception de la motorisation des vannes qui s'est généralisée, notamment lorsque les canalisations ont des diamètres importants.

4.5.1 Analyse des causes

Les matériels concernés par les accidents sont assurément les réservoirs et les cuvettes de rétention. Bon nombre des accidents recensés concernent ces équipements et ont donné lieu à des incendies. Ils font généralement suite à des interventions humaines, à des problèmes de conception ou d'agencement, à un vieillissement non maîtrisé du matériel, ou encore à des événements extérieurs (attentats, conditions météorologiques, etc...). A titre d'exemple, dans le cas de l'accident à Le Poinçonnet le 14/03/81, l'hypothèse de l'attentat a pu être confirmée par enquête. En ce qui concerne l'incendie généralisé de Thessalonique en Grèce en 1986, un petit incendie s'est finalement transformé en sinistre d'une grande ampleur. Dans ce cas, l'agencement du parc de stockage et l'insuffisance des moyens de secours et d'intervention ont favorisé l'extension du sinistre. Le graphique ci-après présente les quatre grandes catégories de causes et les pourcentages qu'ils représentent. Les quelques sinistres dont les causes sont inconnues ne sont pas considérées dans cette figure.

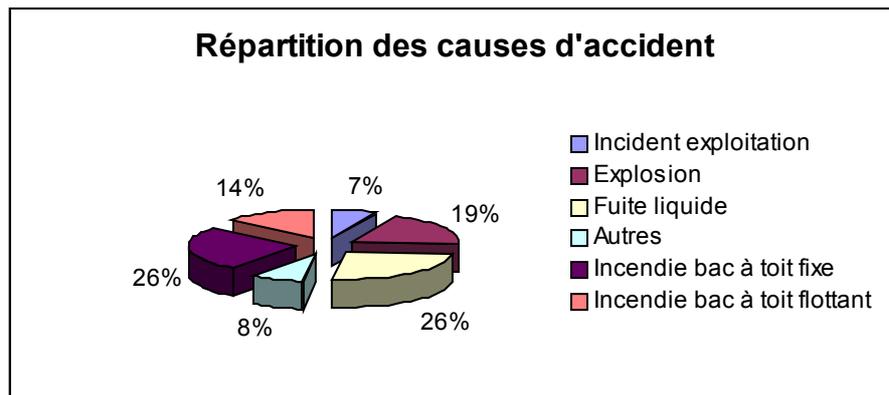


De manière plus explicite, les quatre catégories sont :

- Défaut de maîtrise du procédé : changement de phase inattendu (vaporisation, ...), comportement physique inattendu (débordement, montée en pression ou en température)
- Causes externes : conditions météorologiques, accidents extérieurs, attentat, ...
- Défaillances / Erreur humaine : action élémentaire ou complexe inadaptée
- Défaillance matérielle : rupture, déformation, désassemblage, colmatage, fuite,...

4.5.2 Analyse des scénarios

Les explosions du ciel gazeux d'un réservoir sont en majeure partie suivies d'un incendie de ce même réservoir (feu de bac) ou d'un incendie du produit répandu dans la cuvette dans laquelle il se trouve (feu de cuvette). Cette considération justifie le regroupement de ces phénomènes indépendamment de la cause initiale du sinistre. Ils représentent près de 60 % des accidents ayant touché des zones de stockage d'hydrocarbures liquides.



Parmi les incendies qui ont touché les réservoirs à toit fixe ou flottant, les feux de cuvettes de rétention et de réservoirs proprement dits sont comptabilisés ensemble. Pour la majeure partie des sinistres recensés, il y a souvent absence d'information ce qui ne permet pas de définir exactement le matériel initialement ou principalement touché.

4.5.3 Analyse de gravité

Si les sinistres touchant des réservoirs et des cuvettes sont les plus fréquents, ils ont la particularité d'être aussi les plus graves. Afin d'évaluer ce niveau de gravité, nous avons pris le parti de se référer à l'échelle de gravité du B.A.R.P.I. Toutefois, les éléments en notre possession ne nous permettaient pas, pour la majeure partie des sinistres recensés, d'évaluer tous les critères de description des conséquences utilisés dans cette échelle.

Seule la première partie du tableau a été considérée, soit les critères suivants :

- I. Quantité Q de substance effectivement perdue ou rejetée par rapport au seuil "Seveso"
- II. Quantité Q de substance explosive ayant effectivement participé à l'explosion
(en équivalent T.N.T.)
- III. Nombre total de morts répartis suivant leur origine (employé, sauveteurs et public)
- IV. Nombre total de blessés avec hospitalisation supérieure à 24 h (employé, sauveteurs et public)
- V. Nombre total de blessés avec hospitalisation inférieure à 24 h (employé, sauveteurs et public)
- VI. Nombre de tiers sans abris ou dans l'incapacité de travailler en raison de dommages matériels à des bâtiments hors établissement
- VII. Nombre de riverains évacués ou confinés chez eux pendant plus de 2 heures / Nombre de personnes privées d'eau potable, électricité, gaz, téléphone, transports publics pendant plus de deux heures

Pour déterminer le niveau global de gravité, la condition la plus aggravante est prise en compte. Dans le cas des accidents de Saint-Ouen et du Port E. Herriot, nous avons pu déterminer les niveaux de gravité suivants :

Accidents	Saint-Ouen	Port E. Herriot
Critère I	3	4
Critère II	1	1
Critère III	1	3
Critère IV	2-3	2-3
Critère V	2	1-2
Critère VI	2-3	1
Critère VII	1	1
Niveau Global	3	4

Tableau 1: Niveaux de gravité

L'explosion suivie d'un feu de cuvette et, in fine, d'un boil over à Tocoa (Venezuela), a causé la mort de près de 200 personnes. Si l'on se réfère à l'échelle de gravité du B.A.R.P.I., seuls ces types d'accidents sont susceptibles d'atteindre les seuils de gravité 5 et 6.

5 ECONOMIE DU RESERVOIR SOUS TALUS

5.1 HISTORIQUE

Le recouvrement de gros réservoirs contenant des produits dangereux, c'est à dire de réservoirs contenant plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres cubes de produit, est une technique plutôt récente. Les premiers stockages de réservoirs sous talus ont été construits pour la plupart en Allemagne, pays qui a opté pour cette technique au début des années 80, notamment sous l'impulsion du professeur MANG de l'Université de Karlsruhe. Ces réservoirs contenaient exclusivement des G.P.L. Rapidement cette technique a dépassé les frontières de ce pays pour être reprise à travers le monde. Ainsi des stockages importants, toujours de G.P.L., ont été réalisés au Royaume Uni, Nouvelle Zélande, Australie, Suisse, république d'Irlande, Malaisie et Afrique du Sud. Depuis, bon nombre de pays, dont la France, se sont dotés d'une réglementation engageant les industriels à utiliser cette technique pour protéger les réservoirs contenant des gaz inflammables liquéfiés. L'arrêté du 09 novembre 1989 relatif aux conditions d'éloignement auxquelles est subordonnée la délivrance de l'autorisation des nouveaux réservoirs de gaz inflammables liquéfiés définit les conditions de mise en œuvre de cette technique qui permet par ailleurs de minimiser grandement les distances de maîtrise de l'urbanisation en s'affranchissant du scénario de Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (B.L.E.V.E.) du réservoir caractéristique des gaz liquéfiés stockés sous pression.

Ainsi, une bonne cinquantaine de gros réservoirs de G.I.L. sous talus (200 m³ et plus) a déjà bénéficié des dispositions de l'arrêté de 1989, dont une dizaine de sphères (jusqu'à 3500m³ de capacité).

5.2 AU PLAN SECURITE

Si l'on retient les termes de l'arrêté du 09 novembre 1989², la mise sous talus permet d'améliorer notablement la protection des réservoirs (ou tout équipement sous talus) vis à vis des agressions thermiques et mécaniques. Cependant, on notera qu'à l'étranger et pour les réservoirs de G.P.L. sous talus, seul l'aspect de protection thermique est généralement retenu dans les codes ou règles de l'art relatifs à cette technologie : la protection mécanique n'est généralement pas avancée comme une amélioration apportée par la mise sous talus.

La mise en place d'une couche de terre ou d'un matériau équivalent assure une isolation thermique très importante telle, que la proximité d'un feu nourri sur le talus de protection n'a pas d'effet direct sur le réservoir. Cette efficacité a pu être mesurée lors d'essais, tant pour un talus de terre que pour un talus de Texsol³.

Concernant l'aspect de protection mécanique, un talus de terre représente une bonne capacité d'amortissement des projectiles éventuels qui auraient été susceptibles de percuter le réservoir non protégé. L'étude précédemment citée a aussi permis de quantifier cet aspect. De même, on imagine aisément qu'un talus de terre représente une bonne protection vis-à-vis des effets de surpression en amortissant l'onde de surpression.

² Arrêté du 9 novembre 1989 relatif aux conditions d'éloignement auxquelles est subordonnée la délivrance de l'autorisation des nouveaux réservoirs de gaz inflammables liquéfiés.

³ Etude Sphère - Bureau Véritas – Août 1993

Néanmoins cet aspect n'a pas fait l'objet d'une quantification complète. Seule, la tenue de talus Texsol a été testée vis-à-vis de charges de T.N.T.⁴

Des considérations liées à la réglementation des installations classées (protection contre les agressions externes, distance d'isolement) ont conduit à développer la technique du réservoir sous talus. Toutefois, ce type de stockage soulève plusieurs difficultés pour l'application de la réglementation des appareils à pression de gaz, notamment en ce qui concerne leur conception et la visibilité de la paroi extérieure du réservoir.

La circulaire DM-T/P n° 26290 du 30 juillet 1993 a donc défini la nature des dérogations aux dispositions réglementaires applicables pouvant être accordées aux réservoirs sous pression constitués par des enceintes métalliques soudées, sphériques ou cylindriques d'axe horizontal, d'une capacité comprise entre 120 et 3500 mètres cubes et placées sous une épaisseur minimale d'un mètre d'un matériau dense et inerte, non solidaire de l'enceinte. Cette circulaire précise aussi les modalités de conception, construction et surveillance en service auxquelles sont conditionnées ces dérogations.

En particulier, cette circulaire dispose que tout réservoir sous talus doit être protégé efficacement contre la corrosion par la mise en place d'un revêtement protecteur (protection passive) et d'une protection cathodique (protection active).

Enfin sur l'aspect du contrôle visuel de l'enveloppe du réservoir et notamment de sa partie extérieure, l'impossibilité de suivi visuel doit être compensée par des moyens particuliers de suivi de l'enveloppe, notamment des moyens de contrôle non destructifs.

5.3 AU PLAN DES SCENARIOS D'ACCIDENTS POSSIBLES

On conçoit aisément que le recouvrement d'un réservoir par une couche de un mètre de terre assure une bonne protection thermique et mécanique du réservoir. Toutefois, il convient de noter que cette protection n'est assurée que vis-à-vis des agressions externes exclusivement. Si les réservoirs à protéger ne présentent pas de risque de scénario catastrophique qui trouverait son origine dans le réservoir lui-même, alors la mise sous talus garantit un niveau de sécurité élevé en supprimant (diminuant) les scénarios dont la cause serait externe au réservoir. Ceci est réalisé pour les G.I.L. car le stockage sous pression impose de fonctionner sans contact direct du produit avec l'atmosphère ce qui interdit toute entrée d'air dans le réservoir (la pression étant l'élément de sécurité). Le risque de créer une atmosphère inflammable (explosible) dans le réservoir lui-même est quasi nulle puisque l'enveloppe du réservoir isole totalement le produit de son environnement. En conséquence, les scénarios plausibles pour les G.I.L. nécessitent d'abord une agression de l'enveloppe puis une inflammation du produit éventuellement rejeté.

Dans le cas des réservoirs fonctionnant à pression atmosphérique, l'exploitation nécessite un équilibre permanent du produit stocké avec l'air ambiant. Cet équilibre est réalisé par mise en contact directe du produit avec l'atmosphère, par le biais d'évent par exemple. La création d'une atmosphère inflammable à l'intérieur du réservoir n'est plus accidentelle. Sauf précaution particulière (toit flottant, écran interne ou inertage), celle-ci est systématique dès lors que le produit à un point éclair suffisamment bas, c'est-à-dire qu'il

⁴ Etude Equivalence Terre-Texsol – Etude de faisabilité – Bureau Véritas / Fougerolle Ballot – Février 1995

est capable d'engendrer suffisamment de vapeurs aux conditions d'exploitation pour former avec l'air un mélange inflammable. Que les réservoirs soient recouverts ou non, l'occurrence des scénarios d'inflammation (explosion) du ciel gazeux s'en trouve pas ou peu modifiée.

Au plan des scénarios, la mise sous talus des réservoirs contenant des liquides inflammables, n'apporterait donc pas le même gain en matière de sécurité que dans le cas des réservoirs sous pression (cas des G.I.L.) car les scénarios liés à la présence d'une atmosphère inflammable dans le réservoir lui-même ne seraient pas ou peu modifiés par la présence du talus.

5.4 AU PLAN DE L'URBANISATION

Les scénarios d'accidents majeurs relatifs aux liquides inflammables peuvent être résumés sur la base de l'analyse des accidents survenus qui a mis en relief les principaux effets et phénomènes suivants :

- **Les effets thermiques** dus aux feux de réservoirs ou aux feux de cuvettes de rétention (ces derniers donnant lieu aux distances d'effet les plus importantes) ;
- **Les effets de surpression** et de jet de projectiles dus aux explosions d'un nuage de vapeurs (la cause la plus fréquente est l'inflammation du mélange gazeux dans le ciel gazeux du réservoir qui ne possède pas de toit ou d'écran flottant) ;
- **Le BOILOVER** qui est un phénomène de grande ampleur consécutif à la transformation d'eau, présente en fond de bac, en vapeur dans un réservoir atmosphérique en feu. Un BOILOVER peut concerner notamment des réservoirs de gazole, de fuel et de brut. Ses effets sont principalement le développement d'une boule de feu, le débordement et l'épandage d'hydrocarbure en feu à l'extérieur de la cuvette de rétention.

La maîtrise de l'urbanisation autour des installations à risques repose généralement sur la considération de scénarios d'accidents majeurs « enveloppes » relevant de l'approche déterministe c'est à dire de scénarios catastrophiques ne considérant pas le fonctionnement des différents dispositifs de sécurité.

Ainsi, que ce soit pour les réservoirs aériens contenant des gaz inflammables liquéfiés (G.I.L.) ou que ce soit pour les réservoirs contenant des liquides inflammables, les scénarios généralement retenus pour la maîtrise de l'urbanisation correspondent aux scénarios maximum physiquement possibles⁵ c'est à dire :

- le BLEVE pour le cas des G.I.L.,
- le BOILOVER (lorsque celui-ci est physiquement possible⁶) pour le cas des réservoirs contenant des hydrocarbures liquides.

Dans les deux cas, les distances d'effet calculées sont toujours considérables (plusieurs centaines de mètres en général) et celles-ci peuvent mettre en péril la pérennité des sites lorsque le développement de l'environnement est entravé par les zones grevées de servitudes.

Compte tenu de la bonne protection offerte par un talus de terre vis-à-vis des agressions thermiques et mécaniques et de l'aspect « passif »⁷ du revêtement de terre, l'arrêté du 09 novembre 1989 relatif aux GIL dispose que dès lors que le réservoir est sous talus (ou reconnu comme tel), les distances de maîtrise de l'urbanisation seront calculées non plus sur le BLEVE du réservoir, mais sur les effets de surpression associés à l'explosion de la quantité de produit contenue dans la plus grosse canalisation en phase liquide et comprise entre les deux premiers organes de sectionnement automatiques à sécurité positive. Les distances ainsi calculées (quelques dizaines de mètres) n'ont plus de communes mesures avec celles précédemment retenues pour les réservoirs aériens (plusieurs centaines de mètres en général).

Sur la base de l'arrêté du 09 novembre 1989, le recouvrement des réservoirs de GIL permet de s'affranchir des scénarios accidentels les plus pénalisants les concernant et, en conséquences de limiter les distances d'effets d'éventuels accidents tel que le B.L.E.V.E. dont la cause première est d'origine externe (effet thermique). Les zones de maîtrise de l'urbanisation qui peuvent en découler s'en trouvent largement diminuées et, corrélativement, les emprises foncières au sol.

S'agissant des réservoirs de liquides inflammables, leur mise sous talus ne supprime pas totalement l'occurrence du scénario de BOILOVER (lorsque celui-ci est physiquement possible) puisque l'explosion du ciel gazeux du réservoir n'est potentiellement pas supprimée. Sauf à confiner complètement l'explosion dans le talus (c'est à dire que celui-ci garde son intégrité en cas d'explosion), une telle explosion pourrait être suivie d'un feu de bac et ultérieurement d'un BOILOVER si les conditions sont réunies.

⁵ Guide de maîtrise de l'urbanisation – D.P.P.R./S.E.I. – 1992 et Circulaire et Instruction technique du 09 novembre 1989 relatives aux dépôts anciens de liquides inflammables.

⁶ Le phénomène de BOILOVER concerne exclusivement quelques produits qui sont des hydrocarbures liquides présentant des caractéristiques spécifiques, en particulier en ce qui concerne leur viscosité et leur composition (produit contenant à la fois des produits « lourds » et « légers »).

⁷ Un système passif ne nécessite aucune autre action que la présence du système à la différence d'un système actif qui nécessite différentes actions en plus de sa présence : par exemple la fermeture d'une vanne de sécurité (qui pourra être assurée après détection et traitement de l'information de détection).

5.5 AU PLAN DE LA RESISTANCE DES STRUCTURES

Les stockages de G.I.L. sous talus sont constitués de réservoirs sous pression, calculés selon des codes reconnus. Toutefois, pour ces stockages, le recouvrement des réservoirs suppose des précautions particulières ; pour ceux-ci, sont généralement pris en considération les facteurs suivants :

- la pression interne qui dépend de la pression de vapeur saturante du produit stocké,
- la masse de produit stocké dans le réservoir,
- la masse du matériau de recouvrement ainsi que les effets latéraux qui s'y rattachent,
- les contraintes de tassement,
- les équipements notamment les passerelles d'accès,
- les facteurs sismiques.

Dans le cas des G.I.L. et par rapport à des réservoirs aériens, la prise en compte de ces éléments n'entraîne normalement pas de surépaisseur de la coque du réservoir mais peut nécessiter pour les réservoirs horizontaux la mise en place à intervalles réguliers de raidisseurs soudés sur les parois notamment pour les réservoirs horizontaux type « coques minces ». La plupart des réservoirs sous talus sont construits ainsi, le nombre et la taille des anneaux raidisseurs variant d'une implantation à l'autre en fonction des pressions de services et des caractéristiques dimensionnelles des capacités.

La détermination des paramètres du réservoir est réalisée en référence aux codes de construction spécialisés et dûment reconnus. Les méthodes et moyens de soudage utilisés peuvent avoir une influence sur le diamètre des réservoirs. Le coefficient de soudage est fonction des méthodes et techniques de soudage utilisées, notamment lors d'un assemblage sur site. La prise en compte d'une surépaisseur de corrosion affecte aussi l'épaisseur finale de la coque. Mais globalement, la mise sous talus des réservoirs de GIL n'entraîne pas de modifications structurelles importantes des réservoirs. Leur dimensionnement à la pression de service (généralement supérieure à 5 bars) permet à l'enveloppe de supporter sans dommage l'effort supplémentaire dû au talus. Pour les grands réservoirs de G.I.L., l'épaisseur de l'enveloppe peut être de plusieurs dizaines de millimètres⁸. C'est ainsi, qu'un certain nombre de sphères existantes, dont les réservoirs ont été calculés en « aérien », ont pu être mises sous talus (de Texsol pour des raisons foncières notamment) moyennant quelques aménagements au niveau des pieds notamment.

En ce qui concerne les liquides inflammables, les réservoirs travaillent à pression atmosphérique et ne sont donc pas conçus pour résister à des pressions importantes. L'épaisseur des réservoirs de liquides inflammables est déterminée principalement par les efforts dus à la pression hydrostatique et par les contraintes externes telles que le vent par exemple. Dans ces conditions, les épaisseurs de tôle de la robe sont de quelques millimètres et celles-ci sont souvent décroissantes au fur et à mesure de l'élévation (viroles supérieures plus minces que les viroles inférieures).

⁸ L'épaisseur d'un réservoir sphérique de 1 000 m³ de butane peut atteindre 28 mm pour une pression de service de 7,5 bar alors qu'une sphère de propane de 1 500 m³ aura une épaisseur de coque d'environ 40 mm.

Le tableau ci-dessous illustre ce propos pour des réservoirs (en service) aériens métalliques verticaux contenant des hydrocarbures liquides ou d'éthanol (1000 et 5000 m³).

Capacité (m ³)	Diamètre (m)	Hauteur (m)	Nombre et épaisseur viroles (mm) - Epaisseur fond (mm)
30	2,5	6,5	5 mm robe et fond
110	4,5	8,5	3 viroles de 4,76 mm – fond 6,3 mm
1 000	12	9	4 viroles de 5 mm – fond 6,35 mm
1 600	12	14,5	6 viroles : 1x 5,6 et 5x4,76 mm – fond 6,35 mm
5 000	20	16	7 viroles : 9/7,6/7,5/4x6 mm – fond 6,35 mm
10 000	30	15,3	6 viroles : 13,4/11,2/9/6,7/2x6,35 mm – fond 6,35 et 8 mm (en bordure)
15 000	36	14,5	8 viroles : 15,7/13,1/11,2/10,4/9/7,7/2x6,35 mm – fond 6,35 et 8 mm
30 000			
60 000			
90 000	76	25	

On conçoit aisément que la mise en place d'un talus de terre ou d'un matériau équivalent d'une hauteur minimale de 5 mètres et pouvant atteindre et dépasser une vingtaine de mètres en fonction de la capacité des réservoirs à protéger, imposerait à la robe de ces derniers des efforts latéraux importants hors de proportions avec ceux qu'elle serait à même de supporter. Une telle éventualité nécessiterait donc de revoir complètement la structure des réservoirs de liquides inflammables sauf à envisager la mise en place d'une structure indépendante du réservoir destinée à reprendre les efforts dus au talus.

De plus, pour être complète cette protection devrait aussi couvrir le toit des réservoirs. Dans ce cas, le renforcement de structure serait nécessaire pour supporter les efforts dus à la charge du talus supérieur. Ceux-ci seront supérieurs toujours à une tonne par mètre carré de surface et pourront avoisiner les deux tonnes par mètre carré dans le cas de sable par exemple. Pour les bacs de grand diamètre ce problème sera très difficile à résoudre car les surcharges dues au talus seront considérables. Par exemple pour un réservoir de 90 000 m³ dédié au stockage de pétrole brut, la charge due au talus supérieur sera au minimum de plus de 5 000 tonnes réparties sur un diamètre de 80 mètres environ. Compte tenu que ce type de réservoir est à toit flottant, la structure porteuse du talus devra obligatoirement être conçue sans pieds intermédiaires, ce qui n'est pas sans poser des problèmes techniques sérieux.

5.6 AU PLAN DES VOLUMES DE MATERIAU A METTRE EN OEUVRE

A supposer que tous les obstacles techniques sont surmontés, la mise sous talus des réservoirs contenant des liquides inflammables nécessiterait des volumes très importants de matériau inerte.

Le tableau ci-dessous présente les volumes qu'il faudrait mettre en oeuvre en fonction des caractéristiques des réservoirs pour protéger la robe et le toit. Les deux tableaux considèrent chacun un angle de talutage différent : 30° correspondant environ à l'angle de talutage naturel de la terre alors qu'un angle de 70° serait plutôt caractéristique d'un matériau armé (type sable armé de fibres synthétiques par exemple).

Cas d'un matériau avec un angle de talutage de 30 °

Capacité (m ³)	Diamètre (m)	Hauteur (m)	Volumes de matériau inerte (m ³) à mettre en œuvre pour protéger		
			la robe	le toit	robe + toit
30	2,5	6,5	2 318	16	2 334
110	4,5	8,5	5 042	33	5 075
1 000	12	9	7 594	154	7 748
1 600	12	14,5	24 947	154	25 101
5 000	20	16	37 909	380	38 289
10 000	30	15,3	45 117	804	45 922
15 000	36	14,5	42 454	1 134	43 588
90 000	76	25	218 810	4 778	220 589

Cas d'un matériau avec un angle de talutage de 70 °

Capacité (m ³)	Diamètre (m)	Hauteur (m)	Volumes de matériau inerte (m ³) à mettre en œuvre pour protéger		
			la robe	le toit	robe + toit
30	2,5	6,5	310	16	326
110	4,5	8,5	647	33	681
1 000	12	9	1 178	154	1 332
1 600	12	14,5	3 091	154	3 245
5 000	20	16	5 163	380	5 543
10 000	30	15,3	6 862	804	7 666
15 000	36	14,5	6 938	1 134	8 072
90 000	76	25	35 245	4 778	40 023

Ces deux tableaux montrent clairement que les volumes de matériau inerte à mettre en œuvre sont considérables et peuvent représenter plusieurs fois le volume du réservoir à protéger : avec un matériau à angle de talutage d'environ 30°, jusqu'à 75 fois environ le volume du réservoir à protéger lorsque celui-ci est de petite capacité (50 m³). Au delà de 1500 m³ de capacité le volume de matériau inerte à mettre en œuvre est d'environ 15 fois le volume du réservoir à protéger alors qu'il avoisine encore les 2,5 fois le volume du réservoir lorsque celui-ci est de très grande taille. A noter que l'utilisation d'un matériau à fort angle de talutage réduirait de manière importante ces volumes qui resteront néanmoins considérables.

En terme de transport du matériau, cela représente environ 120 camions de 20 tonnes de chargement pour protéger le plus petit des réservoirs verticaux (30 m³) avec de la terre et jusqu'à 8800 camions environ pour protéger un réservoir de 90 000 m³. En imaginant la mise sous talus des réservoirs de raffineries ou des gros dépôts pétroliers, les volumes à transporter et à mettre en œuvre seraient colossaux. Ils représenteraient des volumes de plusieurs millions de mètres cube dans le cas d'une raffinerie.

Si un matériau inerte à fort angle de talutage (70° par exemple) était utilisé, les volumes à mettre en œuvre seraient diminués d'un facteur six environ. Néanmoins, dans le cas de l'utilisation d'un sable armé, les masses mises en jeu seraient diminuées d'un facteur trois

environ (comparativement à un talus de terre à 30°).

En matière d'emprise au sol, un talus⁹ constitué d'un matériau de type sable armé (angle de talutage d'environ 70°) couvrirait une superficie de 1,5 à 8 fois la surface du réservoir à protéger : 1,5 fois pour les plus gros réservoirs et 8 fois pour les plus petits. Dans le cas de la terre, les emprises au sol représenteraient de 45 à 5 fois la surface des réservoirs à protéger, c'est à dire des surfaces bien supérieures aux surfaces des cuvettes de rétention associées aux réservoirs.

⁹ Emprise au sol du talus y compris celle du réservoir qu'il protège.

6 INFLUENCE DE LA MISE SOUS TALUS SUR LES SCENARIOS D'ACCIDENT

Le chapitre intitulé : « RETOUR D'EXPERIENCE » nous a apporté un certain nombre d'enseignements au sujet de la variété des événements accidentels susceptibles d'affecter un stockage d'hydrocarbures liquides.

Les risques relatifs à l'exploitation d'un entrepôt de liquides inflammables, sont principalement liés au caractère facilement inflammable des produits stockés. Les mesures de prévention permettant de réduire la probabilité d'occurrence d'évènements indésirables passent essentiellement par la mise en place de dispositifs de sécurité ainsi que par des procédures de contrôle et de maintenance des installations visant à limiter la production de mélanges inflammables et la création de sources d'inflammation de ces mélanges. De plus, il n'est pas de bonne politique de sécurité sans définition claire des procédures d'intervention d'urgence.

Les situations de dangers majeurs sont les suivantes :

- l'épandage de liquide inflammable après une fuite sur une canalisation peut donner lieu à :
 - un feu de nappe consécutif à l'inflammation d'une flaque liquide,
 - un phénomène d'explosion de vapeurs non confinées (UVCE) lorsque le liquide inflammable stocké est suffisamment volatil.
- l'éclatement d'un bac vide, mal dégazé ou plus généralement, l'explosion d'un bac dans lequel une atmosphère explosible a pu se former,
- la pollution accidentelle de l'environnement du site,
- la création d'une boule de feu associée au phénomène de boil over.

L'influence de la mise sous talus sur chacune de ces situations de dangers analysée est représentée, dans cet ordre, dans la suite de cette étude :

- Feu de nappe,
- U.V.C.E.,
- Explosion dans le ciel gazeux d'un réservoir,
- Pollution accidentelle,
- BOILOVER.

6.1 FEU DE NAPPE

Le feu de nappe résulte de la combustion d'un liquide inflammable.

Dans le cas d'un stockage, la surface en feu peut être :

- la surface d'un réservoir,
- la surface d'une cuvette de rétention,
- la surface au sol en unité, autour d'un séparateur, d'une pompe, d'un manifold...

Si l'on excepte le dernier cas de figure, il est clair que la mise sous talus apporterait :

- Une limitation probable des effets d'incendie de bac par la présence du talus supérieur. Néanmoins, l'inflammation du contenu du réservoir (feu de bac) suppose au préalable la disparition du toit du réservoir si celui-ci est à toit fixe ou que le toit flottant ait coulé. Dans ces deux cas, il y aura eu d'abord formation d'un mélange inflammable au dessus de la surface du liquide et inflammation de ce mélange. Compte tenu du confinement supplémentaire constitué par le talus et en particulier par le talus supérieur, on peut supposer des effets de surpression bien supérieurs à ce qu'ils seraient pour des réservoirs aériens. Dans ces conditions, la mise sous talus n'apporterait pas nécessairement un surcroît de protection.
- Une réduction de la surface en feu dans le cas feu de cuvette, car celle-ci serait limitée à la surface du bac augmentée de l'espace annulaire compris entre le bac et la structure reprenant les poussées latérales du talus. Cet espace serait au plus de 1 à 2 mètres autour du réservoir, soit pour les grands réservoirs, une réduction importante de la surface de cuvette. Comme dans le cas précédent, la création d'effets de surpression lors de l'allumage n'est pas à exclure ;
- Une bonne protection du réservoir et de son contenu en cas de feu de nappe affectant une cuvette voisine du réservoir.

Pour ce qui concerne les fuites sur canalisations situées hors du talus, la situation serait inchangée.

Notons toutefois, que la mise en place des équipements et des vannes (soutirage, emplissage, purge,..) dans l'espace annulaire compris entre la robe du réservoir et la paroi de reprise des efforts du talus permettrait d'assurer une protection vis à vis du sous sol pour autant que le fond de cet espace annulaire soit étanche (métallique par exemple).

La mise sous talus permettrait sans doute de réduire les distances d'effets des scénarios de feu de cuvette, qui constituent généralement les scénarios enveloppes dans des dépôts d'hydrocarbures, pour ce qui concerne le phénomène de feu de nappe.

6.2 U.V.C.E.

Lorsque le réservoir est aérien toute fuite de produit volatil peut créer un nuage inflammable qui se disperse librement dans la cuvette de rétention du réservoir. Lorsque la fuite est importante, le nuage résultant peut dériver et atteindre des zones éloignées avant d'être dispersé au point de ne plus présenter de danger (concentration inférieure à la LII). En règle général et en l'absence de confinement, l'allumage d'un tel nuage ne donne pas lieu à des effets de surpression sauf si une partie du nuage atteint une zone de confinement (comme par exemple une zone de stationnement de plusieurs camions citernes à St Herblain, ou une unité de raffinage). En règle générale, il se produit un « flash fire » qui se présente sous la forme d'un front de flammes qui parcourt le nuage et entraîne l'inflammation de la nappe liquide au sol. Il s'ensuit alors un feu de nappe.

La mise sous talus des réservoirs d'hydrocarbures liquides, aura pour conséquences :

- d'une part, de limiter la dispersion du nuage de gaz en cas de fuite et d'éviter, ou pour le moins de limiter, son extension et donc sa dérive éventuelle vers d'autres zones ;
- d'autre part, de créer systématiquement les conditions d'un confinement qui pourraient engendrer l'apparition d'effets de surpression importants lors de l'allumage du nuage formé. Ces effets de surpression internes au confinement créé par la mise sous talus devront être considérés dans l'étude de structure pour garantir la pérennité de la protection (du talus et de la rétention associée) car le réservoir ne résisterait vraisemblablement pas à des niveaux de surpressions de quelques dizaines de millibars.

En cas de fuite sur un autre réservoir engendrant la formation d'un nuage de gaz dérivant vers le réservoir sous talus, la protection apportée par le talus permettrait de s'affranchir des conséquences d'un tel scénario.

Enfin, si l'on retient que les principales causes d'inflammation sont liées à des interventions humaines sur le réservoir ou la foudre, force est de reconnaître que la mise sous talus n'apportera que peu de protection supplémentaire. En effet, les interventions humaines sont motivées par des raisons de service (maintenance,...) et la mise sous talus ne devrait pas en modifier ni le nombre ni la qualité. Par contre, la création du confinement rend les conditions d'intervention plus périlleuses notamment en raison du risque d'émanations de vapeurs plus lourdes que l'air et stagnant dans l'espace annulaire et par les éventuels effets de surpression en cas d'allumage.

Pour ce qui est de l'allumage d'un mélange inflammable, la présence du talus n'aura que peu d'impact, par nécessité, des événements permettront la communication directe entre le réservoir et l'extérieur du talus.

6.3 EXPLOSION DU CIEL GAZEUX

Les deux conséquences redoutées d'une explosion du ciel gazeux du réservoir, sont l'onde de pression et la projection de débris.

Le premier de ces effets sera sans doute limité par la présence du talus si l'espace annulaire constitue un volume de décharge suffisant pour l'explosion. A défaut, la montée en pression dans le talus pourrait amener la ruine partielle ou totale du réservoir et du talus supérieur de protection.

Concernant la projection de débris, la mise sous talus constitue un écran efficace que ce soit en cas d'explosion du bac sous talus ou que ce soit en cas d'explosion d'un bac voisin.

6.4 POLLUTION ACCIDENTELLE

Si l'on considère que la mise en place d'un talus de protection autour des réservoirs d'hydrocarbures liquides suppose la mise en place d'une structure spécifique et indépendante du réservoir pour reprendre les efforts dus à la présence du talus, les aspects de pollution du sol et du sous sol s'en trouveraient peu modifiés. La visibilité de la robe du réservoir et du toit serait identique à la situation actuelle : les contrôles et inspections ne s'en trouveraient pas profondément modifiées.

La mise en place d'un double fond (éventuellement contrôlé par mise en dépression) et la création d'un espace annulaire étanche dans lequel les équipements (agitateurs,...) et les différentes vannes seraient implantés pourraient garantir un bon niveau de protection vis-à-vis des pollutions accidentelles. Cependant, ces dispositions ne sont pas spécifiques des sous talus (notamment la création de double fond).

Si les talus de protection étaient adossés à la robe des réservoirs, les conditions d'inspection, de contrôle et de maintenance s'en trouveraient totalement bouleversées. Cependant, une telle hypothèse nécessiterait de revoir complètement la conception des réservoirs de stockage ce qui paraît peu plausible. De plus, les aspects de corrosion devront alors faire l'objet d'une étude particulière.

6.5 BOILOVER

Le BOILOVER est un phénomène retardé dans le temps et qui intervient plusieurs heures après le début d'un feu de bac. Tous les hydrocarbures liquides ne sont pas sujets au BOILOVER, seuls quelques produits peuvent être concernés par un tel phénomène : le gazole, les fuels et le pétrole brut notamment.

Pour qu'un BOILOVER se produise, trois conditions impératives doivent être remplies :

- une viscosité suffisamment élevée de l'hydrocarbure,
- la formation d'une onde de chaleur dans l'hydrocarbure,
- la présence d'eau en fond de réservoir.

C'est la vaporisation brutale de l'eau au contact de l'onde chaleur descendante qui expulse le liquide du réservoir. Ce liquide se vaporise pour partie alimentant une boule de feu alors que la fraction liquide retombe au sol en propageant l'incendie. C'est un événement rare mais dont les conséquences peuvent être désastreuses, notamment du fait de sa capacité à propager le sinistre bien au-delà du réservoir en feu.

La mise sous talus des réservoirs d'hydrocarbures liquides devrait plutôt limiter ce risque en entravant le développement d'un feu de bac pour autant que le talus de couverture n'ait pas été ruiné partiellement ou totalement dans une phase précédente : explosion du ciel gazeux du réservoir ou du mélange inflammable contenu dans l'espace annulaire par exemple.

7 SYNTHÈSE

La mise sous talus des réservoirs contenant des matières dangereuses est une pratique courante, notamment pour les réservoirs de petite capacité. Pour des capacités de mille mètres cubes et plus, cette pratique est obligatoire en France pour des raisons de sécurité environnementale, comme dans de nombreux autres pays, pour les réservoirs neufs contenant des Gaz Inflammables Liquéfiés (G.I.L.) sous pression, tel que le G.P.L. par exemple.

Dans le cas d'hydrocarbures liquides, seuls quelques grands réservoirs destinés aux besoins de défense du pays sont protégés par mise sous talus (ou assimilé).

La mise sous talus de grands réservoirs d'hydrocarbures liquides n'apporterait sans doute pas le même gain en matière de sécurité que pour le cas des G.I.L. En effet, si la mise sous talus des réservoirs de G.I.L. permet de s'affranchir des risques du scénario catastrophique qu'est le B.L.E.V.E. dont les causes sont externes (échauffement), en revanche, la mise sous talus des réservoirs d'hydrocarbures liquides ne permettrait pas de s'affranchir totalement des scénarios accidentels de type feu de nappe, explosion de ciel gazeux ou même BOILOVER. Si la mise sous talus des réservoirs d'hydrocarbures liquides constitue un excellent moyen de protection vis-à-vis des agressions externes thermique et mécanique, elle ne permet pas d'influer sensiblement sur l'origine des accidents qui sont pour les hydrocarbures liquides à rechercher notamment lors d'interventions humaines sur le réservoir. La permanence ou la quasi-permanence d'une atmosphère inflammable dans le réservoir d'hydrocarbure liquide ne permet pas de limiter l'apparition des scénarios d'accidents.

De plus, la mise sous talus de tels réservoirs créera des conditions de confinement qui seront :

- très pénalisantes pour le personnel ayant à intervenir sur les réservoirs en créant des zones mal ventilées dans lesquelles le risque d'asphyxie sera à considérer,
- aggravantes en terme d'effets pour certains scénarios, tel l'inflammation d'un nuage de gaz par exemple.

Par ailleurs, au plan de la faisabilité, la mise sous talus nous semble peu réaliste par les renforcements de structures (ou création de nouvelles structures) qu'elle suppose notamment pour la reprise des efforts dus au talus ainsi que pour les volumes de matériau inerte qu'il faudrait mettre en place pour protéger les réservoirs. Enfin, il n'est pas certain qu'il soit techniquement possible de créer des structures autoportantes pour supporter le talus supérieur dans le cas de réservoirs de très grand diamètre, particulièrement lorsqu'il s'agit des réservoirs à toit flottant qui constituent les réservoirs de plus grande capacité (100 000 m³ et plus).

D'autres moyens, tels que par exemple la mise place de doubles fonds ou d'autres techniques à définir, permettraient sans doute de limiter l'occurrence ou les conséquences des scénarios d'accidents caractéristiques des réservoirs contenant des hydrocarbures liquides pour autant que cela soit réaliste au plan technique et économique.

