



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

Direction Générale de la Prévention des Risques

Service des Risques Technologiques

Sous-direction des risques accidentels

Bureau des risques technologiques et des
industries chimiques et pétrolières

Paris, le 04 DEC. 2012

**Le directeur général de la prévention des
risques**

à

**Mmes et MM les Directeurs régionaux de
l'environnement, de l'aménagement et du
logement**

**Monsieur le directeur régional et
interdépartemental de l'environnement et
de l'énergie d'Ile de France**

**MM les Directeurs de l'environnement, de
l'aménagement et du logement**

Nos réf. : BRTICP/2012-437/OA

Affaire suivie par : Olivier ASTIER

Tél : 01 40 81 89 76 - Fax : 01 40 81 90 39

olivier1.astier@developpement-durable.gouv.fr

Objet : Modélisation des effets liés aux phénomènes dangereux pouvant survenir sur un réservoir de liquides inflammables à double paroi.

Annexe : Eléments de doctrine.

La loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages et ses textes d'application ont introduit une nouvelle méthodologie d'évaluation des risques dans les études de dangers. Les sites industriels où sont stockés des liquides inflammables (dépôts, raffineries...) présentent des similarités vis-à-vis des phénomènes dangereux susceptibles de s'y produire. Ainsi, ces similarités ont conduit à la publication d'éléments méthodologiques rassemblés dans la circulaire du 10 mai 2010, qui permet de fixer des règles et bonnes pratiques pour la rédaction et l'instruction de ces études.

L'arrêté du 3 octobre 2010, relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables exploités dans un stockage soumis à autorisation au titre de la rubrique 1432 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, a introduit dans la réglementation française une technologie récente de réservoir à double paroi. Cette technologie, très répandue en Allemagne par exemple, permet d'améliorer la sécurité des réservoirs sur de nombreux points tout en soulevant de nouveaux points d'attention que l'arrêté s'attache à encadrer de façon pertinente au travers des dispositions prévues dans son article 25.

Copie : destinataires in fine.

A ce jour, plusieurs projets d'implantation de réservoirs à double paroi sont à l'étude dans des sites Seveso de différentes régions (Bretagne, Alsace, Ile-de-France, etc.). Afin que ces projets soient correctement pris en compte dans les études de dangers et dans la définition des PPRT concernés, il a été créé à la fin du mois d'octobre 2011 un groupe de travail spécifique aux réservoirs à double paroi, regroupant des représentants de l'administration, de professionnels et d'experts. Ce groupe a permis d'une part de définir les potentiels phénomènes dangereux à étudier en présence d'un tel dispositif et une méthodologie permettant d'évaluer l'intensité des effets qu'ils sont susceptibles de produire, et d'autre part, d'identifier des points qui, selon lui, mériteraient d'être examinés par l'exploitant dans le cadre de son projet.

Les éléments de doctrine émanant de ce groupe de travail sont donnés en annexe de la présente note, qui sera prochainement mise en ligne sur le site Internet <http://www.ineris.fr/aida/>. Afin de simplifier l'application de l'approche retenue, un outil de calcul sera prochainement développé et disponible via la plate-forme Primarisk accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.ineris.fr/primarisk/>.

Je considère que cette nouvelle doctrine peut désormais être utilisée par les exploitants dans le cadre de l'élaboration de leurs études de dangers. Ceci dit, je tiens également à préciser qu'elle ne revêt aucun caractère réglementaire. La doctrine proposée constitue une approche alternative à d'éventuelles méthodes que pourraient proposer les professionnels.

Enfin, les éléments d'appréciation actuellement en notre possession ne conduisent pas à ce stade à écarter les potentiels phénomènes dangereux susceptibles d'être générés sur ce type de réservoir, que ce soit au titre de la démarche de réduction du risque à la source (MMR), qu'au titre de la maîtrise de l'urbanisation (PPRT) et de l'élaboration des plans d'urgence.

Le directeur général de la prévention des risques,
délégué aux risques majeurs

SIGNE

Laurent MICHEL

Destinataires en copie :

- Monsieur le directeur technique de l'Union française des industries pétrolières
- Monsieur le directeur du département technique de l'Union des industries chimiques
- Monsieur le directeur de l'Union nationale de groupements de distillateurs d'alcool
- Monsieur le président de l'Union des stockistes indépendants
- Monsieur le délégué général du Groupe d'étude de sécurité des industries pétrolières et chimiques
- Monsieur le contrôleur général des armées

Éléments de doctrine relatifs aux réservoirs de liquides inflammables à double paroi

La présente note concerne les réservoirs à double paroi de liquides inflammables tels que définis par la rubrique 1430 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Cette note vise les réservoirs répondant à la définition donnée à l'article 2 de l'arrêté ministériel du 3 octobre 2010¹ et aux dispositions techniques de cet arrêté, en particulier celles définies dans son article 25. Pour mémoire, la définition donnée à l'article 2 est la suivante : « réservoir à double paroi : réservoir aérien pour lequel la rétention est délimitée par une seconde paroi métallique ou en béton formant un espace annulaire d'axe vertical autour du réservoir. »

Ne sont pas visés par la présente note :

- les stockages cryogéniques de gaz inflammables liquéfiés.
- les réservoirs à double enveloppe (et non à double paroi) qui sont caractérisés par un espace interstitiel minimum et qui sont généralement employés pour les stockages enterrés.

La présentation détaillée des différents phénomènes dangereux susceptibles de survenir sur un réservoir à double paroi ne préjuge pas des éventuelles agrégations faites par l'exploitant dans son étude de dangers (exemple, positionnement dans la matrice MMR d'un seul scénario d'UVCE correspondant au cas majorant en fonction du remplissage de l'espace annulaire).

1. Evaluation des distances d'effets des phénomènes dangereux potentiels

1.1. Feux de réservoir et/ou de rétention

Pour un réservoir à double paroi, trois phénomènes d'incendie potentiels sont identifiés :

- feu de réservoir (phénomène 1) ;
- feu de l'espace annulaire (phénomène 2) ;
- feu de l'espace annulaire et du réservoir (phénomène 3).

Les méthodes disponibles reconnues par le ministère (notamment décrites dans la note "Modélisation des effets thermiques dus à un feu de nappe d'hydrocarbures liquides", accessible via le lien suivant : http://www.ineris.fr/aida/files/aida/file/text4554_02.doc) permettent d'effectuer le calcul des distances d'effets associées à l'incendie du réservoir seul (phénomène 1) ainsi que des distances d'effets associées à l'incendie du réservoir et de l'espace annulaire (phénomène 3). Un outil, en particulier adapté à la modélisation des feux de nappe et de réservoirs, est donné via le lien suivant : http://www.ineris.fr/aida/files/aida/file/text4554_v4.xls.

¹ Arrêté du 03/10/10 relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables exploités dans un stockage soumis à autorisation au titre de la rubrique 1432 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

Le phénomène 2 est de moindre ampleur que le phénomène 3. La modélisation du phénomène 3 peut valoir modélisation pour les deux autres phénomènes, les distances d'effet restant limitées a priori pour le phénomène 2.

Pour la simulation du phénomène 3, la base des flammes doit être prise à hauteur de la double paroi.

1.2. Pressurisation et explosion de réservoir

Les réservoirs à double paroi ne présentent pas de spécificité particulière vis-à-vis des phénomènes dangereux de pressurisation lente et d'explosion.

1.3. Explosions de nuage inflammable (VCE)

En l'état des connaissances actuelles, les produits dont le point d'éclair est inférieur ou égal à 55°C ou inférieur ou égal à la température de stockage si le produit est réchauffé, sont considérés comme susceptibles d'engendrer une VCE.

Dans tous les cas, la concentration du nuage inflammable est à considérer à la stœchiométrie.

Il est à noter deux types de scénarios d'explosion liés au taux de remplissage en liquide de l'espace annulaire :

- Scénario n°1 (cas d'un niveau bas de liquide inflammable dans l'espace annulaire) : explosion en deux phases (une première phase à l'intérieur de l'espace annulaire suivie d'une phase à l'extérieur de l'espace annulaire).
- Scénario n°2 (cas d'une fuite significative de liquide inflammable avant inflammation, espace annulaire quasi-rempli de liquide) : évaporation puis explosion uniquement à l'extérieur de l'espace annulaire ou en partie très haute. Ce scénario n'a pas à être pris en compte si l'espace annulaire est couvert et étanche.

Scénario n°1

- Première phase de l'explosion : elle a lieu dans l'espace annulaire et dépend de la forme de cet espace (degré de confinement, élancement...). La propagation du front de flamme dans le volume annulaire génère une expulsion des gaz imbrûlés à la verticale, par la zone haute de l'espace annulaire (zone ouverte à l'air libre ou équipée d'un dispositif de couverture servant à l'évacuation des eaux de pluie) qui sera à l'origine de l'explosion externe dont les effets seront quantifiés au paragraphe « Seconde phase de l'explosion ».

La tenue du réservoir à la surpression générée durant cette première phase n'est pas demandée. En revanche, la tenue de la seconde paroi à cette surpression doit être démontrée via une note de calcul annexée à l'étude de dangers ou tenue à disposition de l'inspection des installations classées.

Deux approches peuvent être utilisées pour justifier la tenue de la seconde paroi à la pression liée à l'explosion :

- une approche simplifiée consistant à ajouter de façon forfaitaire la pression liée à l'explosion calculée pour un espace annulaire vide, à la pression hydrostatique calculée pour un espace annulaire plein.
- une approche affinée consistant à calculer, pour chaque virole ou chaque tronçon de double paroi, la pression hydrostatique et la pression liée à l'explosion, pour tous les niveaux de remplissage (de l'espace annulaire vide à l'espace annulaire plein).

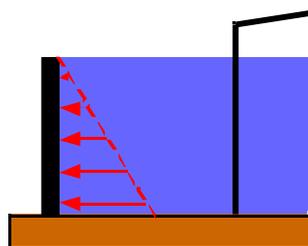
Approche simplifiée :

Cette approche est réalisée virole par virole (ou tronçon par tronçon), en application des différentes étapes de la méthodologie suivante :

- Etape 1 : Détermination de la pression hydrostatique
- Etape 2 : Détermination de la surpression due à l'explosion à l'intérieur de l'espace annulaire vide (pic de pression)
- Etape 3 : Détermination de la pression statique équivalente (PSE)
- Etape 4 : Détermination de la pression de calcul
- Etape 5 : Calcul de la tenue de la seconde paroi à la pression considérée

Etape 1, détermination de la pression hydrostatique :

La pression hydrostatique est fonction de la hauteur de liquide dans l'espace annulaire et de la densité de ce liquide. Cette pression est calculée pour chaque virole, en son point le plus bas. Elle est nulle en haut de l'espace annulaire et maximale en fond.



Etape 2, détermination de la surpression due à l'explosion à l'intérieur de l'espace annulaire vide (pic de pression) :

Le calcul de la surpression est réalisé en considérant l'espace annulaire vide. La pression est fonction du rapport H/e (hauteur/écart entre parois) de la double paroi :

Ratio H/e	12	10	6	4	2
Pic de pression	600 mbar	500 mbar	300 mbar	200 mbar	100 mbar

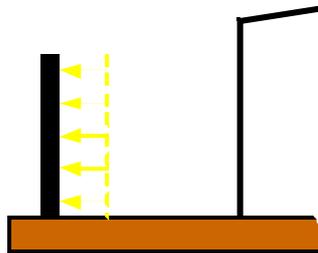
Il est à noter que plus l'espace est élancé (H/e élevé), plus la valeur du pic de pression est élevée.

Pour les ratios intermédiaires, la valeur à considérer est obtenue par interpolation. Pour les ratios supérieurs à 12, une étude spécifique est nécessaire. Pour les ratios inférieurs à 2, en l'absence d'une étude spécifique, une valeur de 100 mbar peut être prise par défaut.

Etape 3, détermination de la pression statique équivalente (PSE) :

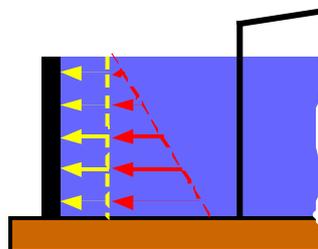
La pression statique équivalente est obtenue en multipliant le pic de pression par 1,5. Ce coefficient 1,5 correspond à une valeur forfaitaire du Dynamic Load Factor (DLF) qui est le coefficient qui permet d'assimiler une pression dynamique à une pression statique, dans le cas particulier des régimes de déflagration (une détonation n'est pas envisageable).

Ratio H/e	12	10	6	4	2
Pic de pression	600 mbar	500 mbar	300 mbar	200 mbar	100 mbar
Pression statique équivalente (PSE = pic x 1,5)	900 mbar	750 mbar	450 mbar	300 mbar	150 mbar



Etape 4, détermination de la pression de calcul :

La pression liée à l'explosion est ajoutée de façon forfaitaire à la pression hydrostatique de l'étape 1, ce qui permet d'obtenir pour chaque virole (ou chaque tronçon) une pression de calcul.



Etape 5, calcul de la tenue de la seconde paroi à la pression considérée :

Le calcul de la tenue de la paroi externe de l'espace annulaire relève des codes de construction spécifiques à la nature de la structure (acier et/ou béton) ou d'un calcul aux éléments finis. Le code de calcul employé doit être explicité dans la note demandée ci-dessus.

Approche affinée :

L'approche affinée consiste, pour chaque virole ou chaque tronçon de la seconde paroi, à déterminer la pression de calcul maximale garantissant la tenue de la seconde paroi en cas d'explosion, en considérant la valeur la plus défavorable de la somme (pression hydrostatique + pression liée à l'explosion) calculée pour différents niveaux de remplissage (de l'espace annulaire vide à l'espace annulaire plein).

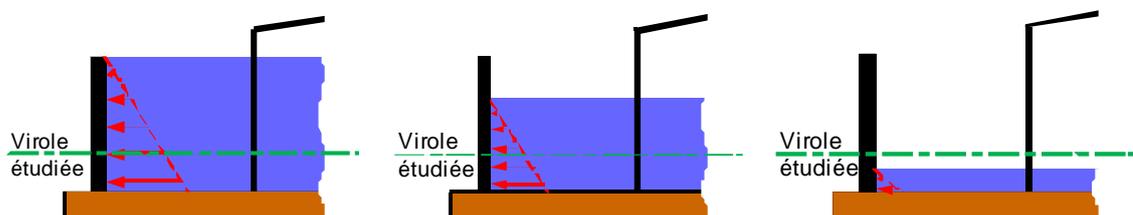
Ainsi, pour une virole donnée ou un tronçon donné, le calcul s'effectue en suivant les différentes étapes ci-après :

- Etape 1 : Détermination de la pression hydrostatique pour différents niveaux de remplissage de l'espace annulaire
- Etape 2 : Détermination de la surpression due à l'explosion à l'intérieur de l'espace annulaire (pic de pression) pour différents niveaux de remplissage de cet espace
- Etape 3 : Détermination de la pression statique équivalente (PSE)
- Etape 4 : Détermination de la pression de calcul
- Etape 5 : Calcul de la tenue de la seconde paroi à la pression considérée

Etape 1, détermination de la pression hydrostatique pour différents niveaux de remplissage de l'espace annulaire :

Il convient de prendre en compte que :

- lorsque l'espace annulaire est plein, la pression hydrostatique est maximale.
- lorsque le niveau de remplissage baisse, la pression hydrostatique diminue.
- lorsque le niveau de remplissage est inférieur au niveau de la virole étudiée, la pression hydrostatique est nulle (a fortiori, lorsque l'espace annulaire est vide, cette pression est nulle).



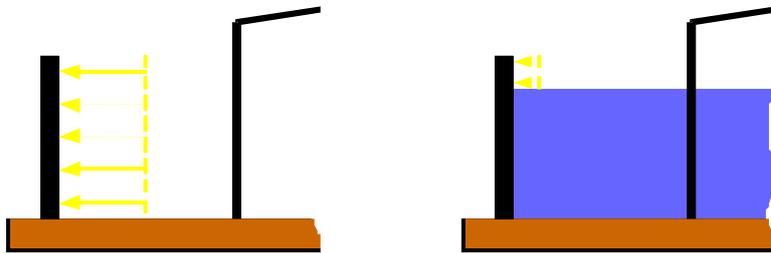
Etape 2, détermination de la surpression due à l'explosion à l'intérieur de l'espace annulaire (pic de pression) pour différents niveaux de remplissage de cet espace :

Le mode de calcul est identique à celui de l'étape 2 de l'approche simplifiée, à l'exception du rapport H/e à prendre en compte qui désormais est fonction du niveau de remplissage de l'espace annulaire. Ainsi, H est à présent la hauteur de la seconde paroi libre au-dessus du niveau de liquide (H_{libre}).

A cette dernière précision près, le tableau à utiliser est le même que pour la première approche.

Ratio H_{libre}/e	12	10	6	4	2
Pic de pression	600 mbar	500 mbar	300 mbar	200 mbar	100 mbar

Pour les ratios intermédiaires, la valeur à considérer est obtenue par interpolation. Pour les ratios supérieurs à 12, une étude spécifique est nécessaire. Pour les ratios inférieurs à 2, en l'absence d'une étude spécifique, une valeur de 100 mbar peut être prise par défaut. Enfin, lorsque l'espace annulaire est plein (H_{libre} très faible), aucune pression liée à l'explosion n'est à prendre en compte.



Etape 3, détermination de la pression statique équivalente (PSE) :

De la même manière que pour l'étape 3 de l'approche simplifiée, la pression statique équivalente est obtenue en multipliant le pic de pression par 1,5.

Etape 4, détermination de la pression de calcul :

Pour une virole donnée (ou un tronçon donné), la pression de calcul à retenir est la valeur maximale de la somme de la pression hydrostatique de l'étape 1 et de la pression statique équivalente liée à l'explosion de l'étape 3, calculée pour tous les niveaux de remplissage possibles.

Etape 5, calcul de la tenue de la seconde paroi à la pression considérée :

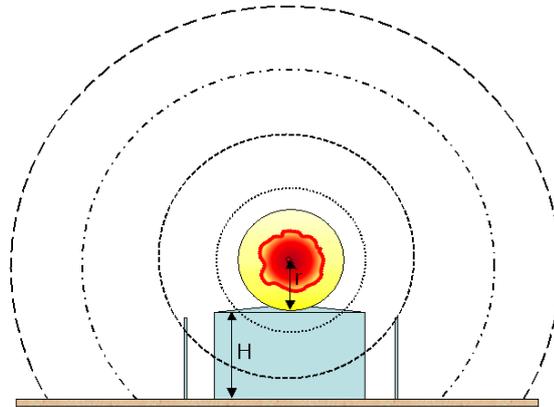
Le calcul de la tenue de la paroi externe de l'espace annulaire relève des codes de construction spécifiques à la nature de la structure (acier et/ou béton) ou d'un calcul aux éléments finis. Le code de calcul employé doit être explicité dans la note demandée ci-dessus.

- Seconde phase de l'explosion : elle est générée à l'extérieur de l'espace annulaire ou dans sa partie haute, après inflammation des gaz imbrûlés expulsés suite à la première phase de l'explosion. Ce phénomène est à étudier. Les effets thermiques peuvent être négligés, étant donné la faible durée de la boule de feu et son altitude élevée.

Les effets de pression peuvent être modélisés par la méthode multi-énergie en considérant :

- une masse réagissante correspondant à 35% de la masse du combustible présent dans le volume total de l'espace annulaire considéré comme rempli d'un mélange stœchiométrique (air / vapeurs de liquide inflammable) ;

- le centre de l'explosion localisé sur l'axe du réservoir, à une hauteur correspondant à la somme de la hauteur de la robe du réservoir (H) et du rayon de la sphère contenant le mélange inflammable (r), comme illustré sur le croquis ci-dessous :



- un indice de sévérité de 5.

Nota : l'application de la méthode multi-énergie pour une explosion aérienne due à un nuage en hauteur, implique que l'utilisateur considère que seule la moitié du nuage contribue à produire des effets au sol. Ainsi, dans ce cas, il convient de diviser par deux l'énergie disponible.

Scénario n°2

Un niveau haut de liquide dans l'espace annulaire et une absence d'inflammation immédiate suite à l'évaporation du liquide peuvent générer un nuage inflammable à l'extérieur de l'espace annulaire (prenant sa source à hauteur de l'espace annulaire), qui peut être à l'origine d'une UVCE.

L'effet majorant est la surpression. La non prise en compte des effets thermiques est admise de par la démonstration que la LIE n'est pas atteinte au niveau du sol.

Les effets de pression peuvent être modélisés par la méthode multi-énergie en considérant :

- une masse réagissante évaluée selon un calcul classique de dispersion de nappe, tel que réalisé pour une nappe au niveau du sol ;
- les conditions de vent F3, D5, A2 et B3 (ces deux dernières conditions permettent de tenir compte du phénomène de rabattement du nuage au niveau du sol) ;
- un indice de sévérité de 3, en l'absence d'obstacle particulier.

Les distances d'effets issues du scénario 2 sont nettement inférieures à celles issues du scénario 1. Par conséquent, il peut être considéré de manière conservatoire pour le scénario 2 des distances d'effets égales à celles obtenues pour le scénario 1.

2. Probabilités d'ignition associées aux phénomènes dangereux potentiels

La conception même des réservoirs à double paroi peut conduire à considérer, pour les probabilités d'ignition, des valeurs inférieures aux valeurs généralement acceptées pour les stockages en réservoirs à simple paroi, dès lors que l'espace annulaire comporte en permanence (y compris pendant les phases de maintenance) du matériel permettant de réduire notablement le risque d'explosion (en particulier, le matériel certifié ATEX).

Cela ne doit pas néanmoins conduire au final à prendre en compte des probabilités d'ignition inférieures à celles citées dans le guide professionnel d'octobre 2008² en fonction de la catégorie du liquide inflammable concerné.

3. Recommandations

Ces recommandations, essentiellement d'ordre technique, concernent la conception des réservoirs à double paroi :

- Il n'apparaît pas de difficulté technique pour assurer l'étanchéité de la seconde paroi au niveau de la traversée des tuyauteries. Cela étant, la technique employée doit tenir compte des effets de dilatation des tuyauteries.
- Si l'espace annulaire est couvert, en particulier pour éviter l'introduction d'eau de pluie, les dispositifs de couverture situés au-dessus de l'espace annulaire doivent être soufflables et conçus de manière à ce que les pics de pression retenus à l'étape 2 des approches simplifiée et affinée présentées en § 1.3 de la présente note ne soient pas remis en cause. La conception du dispositif doit impliquer une faible résistance des attaches et une faible masse surfacique de l'élément soufflable (< 10 kg/m²). La superficie des dispositifs soufflables et des ouvertures permanentes doit être au moins égale à la surface de l'espace annulaire.
- Pour les liquides inflammables susceptibles de conduire à une explosion de type VCE, il convient de limiter l'encombrement au maximum dans l'espace annulaire, en particulier en évitant les allongements de tuyauterie inutiles, hors de ceux nécessaires à la compensation du phénomène de dilatation. Il convient également de dégager autant que possible l'espace annulaire et donc de placer les tuyauteries en partie basse.
- En cas de projet de transformation de réservoirs existants en réservoirs à double paroi, il convient de bien étudier la résistance des fondations sollicitées par la mise en place d'une deuxième paroi alors qu'elles n'ont été conçues initialement que pour un réservoir classique.

² Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables (hors produits réchauffés et hors stockages en raffineries et usines pétrochimiques).