



Groupe d'Étude de Sécurité
des Industries Pétrolières et Chimiques

**GUIDE DE LECTURE DE LA REGLEMENTATION SUR LE
STOCKAGE ET LE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT DE
LIQUIDES INFLAMMABLES**

PARTIE STOCKAGE (1432 A)

**ARRETE1432 A DU 3 OCTOBRE 2010
MODIFIE PAR L'ARRETE DU 10 FEVRIER 2011**

**RAPPORT 2011/01
FICHE 2011/01 – 4
EVENTS PRESSURISATION**

SOMMAIRE

1	L'ARTICLE 15	3
1.1	Libellé de l'article 15.....	3
1.2	Formule de l'annexe 1.....	3
2	RAISONNEMENT SOUS-TENDU A L'ARTICLE 15	4
2.1	Logigramme de réflexion correspondant à l'article 15	5
3	LA NOTION DE ZONE "SANS OCCUPATION HUMAINE"	6
3.1	L'article 15 donne comme critères :.....	6
3.2	Cas des lieux sans occupation humaine	6
3.3	Cas des voies de circulation.....	6
4	JUSTIFICATION DE L'EXCLUSION DES RESERVOIRS DE PLUS DE 20 M DE DIAMETRE	7
5	LA DETERMINATION DE LA FRANGIBILITE.....	8
5.1	Les codes possibles.....	8
5.2	Le problème du choix du code	9
6	LA DETERMINATION DE LA PRESSION DE RUPTURE.....	9
6.1	Codes disponibles.....	9
6.2	Cas de l'API 650	10
6.3	Choix de la formule de calcul pour la pression de rupture	10
6.4	Approche forfaitaire simplifiée	10
6.5	Importance de la pression de rupture.....	10
7	CHOIX DES FORMULES DE CALCUL DES EFFETS POUR LES RESERVOIRS NON FRANGIBLES.....	11
8	INFLUENCE DU REMPLISSAGE – API 937	11
9	CALCUL DE LA SURFACE D'EVENTS	12
9.1	Choix de la pression "de tarage" des événements.	12
9.2	Calcul final de la surface	13

1 L'ARTICLE 15

L'article 15 (seconde partie) de la nouvelle réglementation « liquides inflammables » traite de la mise en place d'événements d'urgence. De par sa formulation, il fait intervenir les notions de **frangibilité**, de **calcul des effets de la pressurisation**, et de **dimensionnement des événements**.

1.1 Libellé de l'article 15

Lorsque les zones de dangers graves pour la vie humaine, par effets directs ou indirects, liées à un phénomène dangereux de pressurisation de réservoir sortent des limites du site, l'exploitant met en place des événements dont la surface cumulée S_e est au minima celle calculée selon la formule donnée en annexe 1.

Les dispositions du présent article ne sont néanmoins pas applicables :

- *aux réservoirs d'un diamètre supérieur ou égal à 20 mètres,*
- *aux réservoirs dont les zones de dangers graves pour la vie humaine hors du site, par effets directs et indirects, générées par une pressurisation de bac :*
 - *ne comptent aucun lieu d'occupation humaine et ne sont pas susceptibles d'en faire l'objet soit parce que l'exploitant s'en est assuré la maîtrise foncière, soit parce que le préfet a pris des dispositions en vue de prévenir la construction de nouveaux bâtiments, et,*
 - *sont constituées de voies de circulation pour lesquelles les dispositions des plans d'urgence prévoient une interdiction de circuler.*

Pour les installations existantes, les surfaces d'événements nécessaires sont mises en place à la prochaine inspection hors exploitation détaillée du réservoir prévue au titre de l'article 29 du présent arrêté ou dans un délai de 10 ans après la date de publication du présent arrêté pour les réservoirs non soumis à inspection détaillée hors exploitation.

1.2 Formule de l'annexe 1

La surface cumulée S_e des événements d'un réservoir à toit fixe et d'un réservoir à écran flottant est calculée selon la formule suivante :

$$S_e = \frac{U_{fb}}{3600 \text{ Cd}} \cdot \left(\frac{\rho_{air}}{2 \Delta P} \right)^{0,5}$$

ρ_{air} : masse volumique de l'air (= 1,3 kg/m³).

Cd : coefficient aérodynamique de l'événement (entre 0,6 et 1).

Δp : surpression devant être évacuée en pascals.

U_{fb} : débit de vaporisation en normaux mètres cubes par heure d'air [équivalent], calculé selon la formule suivante :

$$U_{fb} = 70900 \cdot A_w^{0,82} \frac{Ri}{H_v} \cdot \left(\frac{T}{M} \right)^{0,5}$$

A_w : surface de robe au contact du liquide inflammable contenu dans le réservoir, en mètres carrés (avec une hauteur plafonnée à 9 mètres).

H_v : chaleur de vaporisation en joules par gramme.

M : masse molaire moyenne de la phase gazeuse évacuée en grammes par mole.

Ri : coefficient de réduction pour prendre en compte l'isolation thermique ; ce facteur est pris égal à 1 correspondant à l'absence de toute isolation.

T : température d'ébullition du liquide inflammable en kelvins.

La formule recopiée est celle de l'annexe 1 de la circulaire du 23 juillet 2007.

Nota : la formule de la circulaire du 23 juillet 2007 a été systématiquement contestée par les industriels. Les industriels demandaient l'application des formules de l'API 2000 (maintenant norme NF EN ISO 28300). Les motifs de la contestation sont les suivants :

- **La non prise en compte de multiples tailles de réservoir** : l'unique jeu de coefficients retenu ne permet pas de prendre en compte la variation du flux thermique transmis au liquide en fonction de la taille du réservoir (le flux transmis est plus intense autour d'un petit réservoir). La norme NF EN ISO 28300 introduit des coefficients variables selon taille du réservoir,
- **L'absence de limitation du flux** : La norme NF EN ISO 28300 introduit en effet un « plafonnement » du flux thermique transmis au liquide, et par suite, de la surface d'événements requise. Ce plafond permet d'intégrer les effets d'inertie influant sur la cinétique du phénomène ainsi que l'impossibilité d'observer un incendie enveloppant homogène autour de très gros réservoirs,
- **L'introduction d'un coefficient majorateur injustifié** : L'application d'un coefficient de majoration 1.64 dans la formule de calcul du flux thermique transmis de la norme NF EN ISO 28300 résulte d'une interprétation erronée de la comparaison entre API 2000 et 521,
- **La généralisation injustifiée aux produits lourds** : Compte-tenu des caractéristiques de certains produits lourds (fuel lourd notamment), le phénomène de pressurisation est physiquement impossible.

2 RAISONNEMENT SOUS-TENDU A L'ARTICLE 15

Un logigramme est donné page suivante.

La première étape est un test sur le diamètre. Les réservoirs d'un diamètre supérieur ou égal à 20 m sont exclus de la prescription.

La deuxième étape est un test de frangibilité. La frangibilité permettra de déterminer quel modèle de calcul des effets peut être employé :

- le réservoir est frangible : utilisation du modèle UFIP présenté dans la note du 23 décembre 2008
- le réservoir n'est pas frangible : repli sur des formules "boule de feu" par exemple celles figurant dans les commentaires de l'IT89 (avec masse à 10 %), ou issu du rapport INERIS Oméga 13 (boil over), etc.

La vérification de frangibilité implique de choisir sur quel code on va se baser.

La troisième étape est le calcul des distances d'effet et l'obtention des données nécessaires :

- réservoir frangible : le calcul des effets nécessitera de fixer une pression de rupture pour le réservoir, nécessaire au calcul par modèle UFIP (note du 23/12/2008)
- réservoir non frangible : les autres modèles disponibles ne font pas intervenir la pression de rupture

La quatrième étape concerne les distances d'effets. Elle revient à déterminer si les effets létaux ("graves" au sens réglementaire doit être compris comme "létaux"¹) sortent du site. Les effets de la pressurisation lente sont des effets thermiques.

- les effets sortent du site (et touchent des zones d'occupation humaine) : il faut une surface cumulée d'événements "réglementaire"
- les effets ne sortent pas du site ou ne visent que des zones sans occupation humaine : rien n'est exigé réglementairement

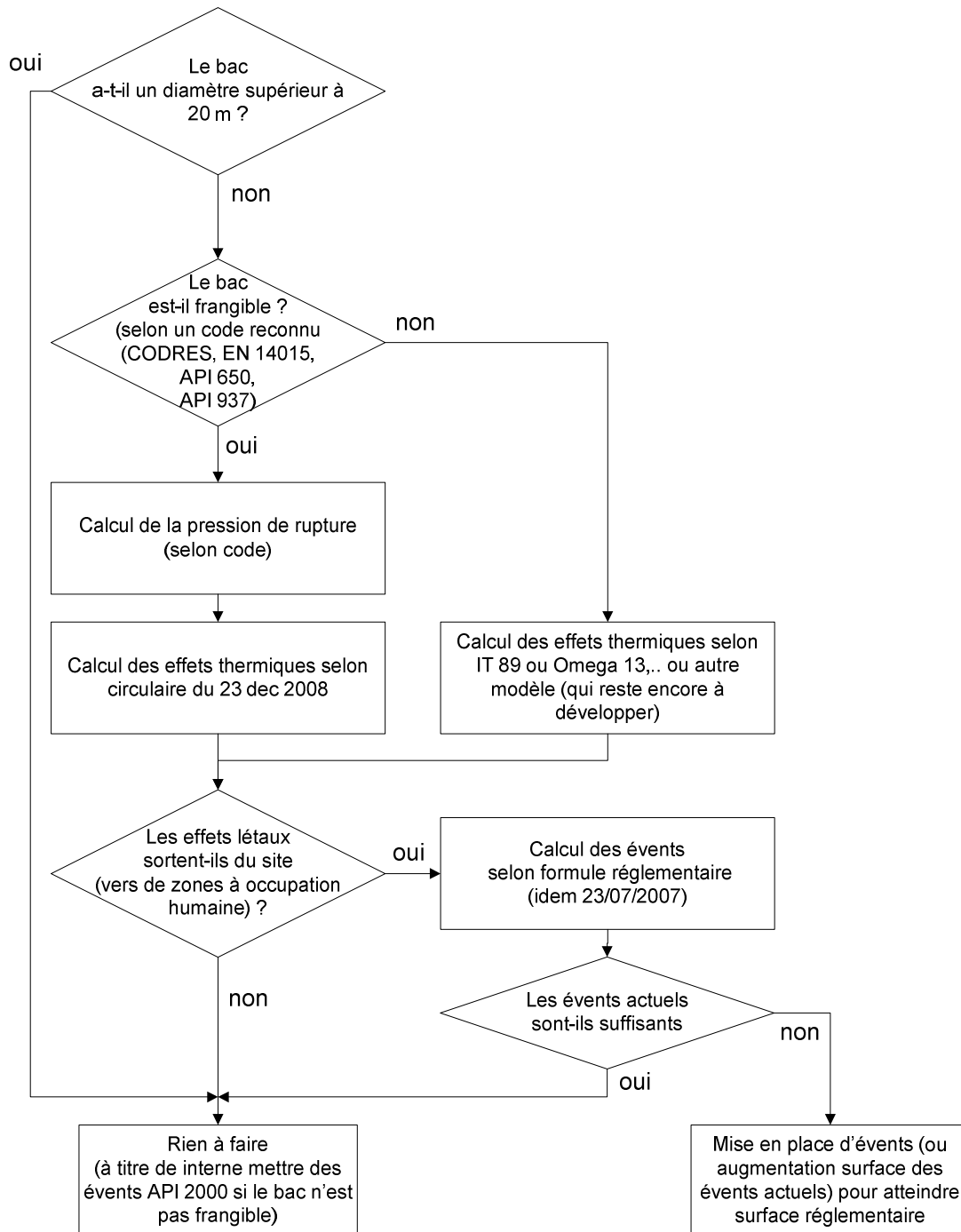
La cinquième étape compare les surfaces d'événements disponibles (notamment en cas d'écran flottant) avec la surface d'événements requise par la réglementation


- la surface actuelle est insuffisante par rapport à la réglementation : il faut compléter pour obtenir la surface réglementaire
- la surface actuelle est suffisante par rapport à la réglementation : OK

Le calcul des événements nécessitera de fixer une "pression de tarage"². Il s'agit en fait de la valeur de pression à ne pas dépasser dans le réservoir pour qu'il conserve son intégrité.

¹ "les seuils des effets létaux (SEL) correspondant à une CL 1 % délimitent la « zone des dangers graves pour la vie humaine » extrait de l'annexe II de l'arrêté du 29/09/2005 (dit arrêté PCIG) » ;

2.1 Logigramme de réflexion correspondant à l'article 15



 A titre de bonne pratique, même si la réglementation n'oblige pas à mettre des événements d'urgence, il est conseillé de mettre des événements d'urgence dimensionnés selon API 2000 / NF EN ISO 28300, si le réservoir n'est pas fragile.

² Les événements n'étant pas toujours tarés (cas de simples ouvertures), il faut comprendre pression de calcul des événements, mais on conservera le terme "tarage" pour ne pas confondre avec la pression de calcul du réservoir.

3 LA NOTION DE ZONE "SANS OCCUPATION HUMAINE"

3.1 L'article 15 donne comme critères :

"Les dispositions du présent article ne sont néanmoins pas applicables [...] aux réservoirs dont les zones de dangers graves pour la vie humaine hors du site, par effets directs et indirects, générées par une pressurisation de bac :

- *ne comptent aucun lieu d'occupation humaine et ne sont pas susceptibles d'en faire l'objet soit parce que l'exploitant s'en est assuré la maîtrise foncière, soit parce que le préfet a pris des dispositions en vue de prévenir la construction de nouveaux bâtiments, et,*
- *sont constituées de voies de circulation pour lesquelles les dispositions des plans d'urgence prévoient une interdiction de circuler."*

L'arrêté ne précise pas ce qu'il faut entendre par aucune occupation humaine mais on peut trouver des indications dans l'arrêté séisme risque spécial (section II, article 10 de l'arrêté du 4/10/2010 relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation :

"Sont définies comme zones sans occupation humaine permanente au sens de la présente section, les zones ne comptant aucun établissement recevant du public, aucun lieu d'habitation, aucun local de travail permanent »

3.2 Cas des lieux sans occupation humaine

Sont donc admis (= les effets graves liés à la pressurisation peuvent s'y manifester)

- les lieux sans habitation (collective, individuelle, même résidence secondaire), ni ERP (hôtel, restaurant, camping, station service), ni local de travail (bureaux, ateliers, entrepôts,...- une zone de travail extérieure n'est pas un local de travail), tels que parkings, terrains vagues, champs cultivés, forêts
- et
 - o la maîtrise foncière est assurée par l'exploitant (exemple, d'un champ appartenant à l'usine mais loué à un agriculteur tiers),
 - o ou le préfet a pris des dispositions pour prévenir toute construction de nouveaux bâtiments via des servitudes ou un PPRT. Une zone non constructible selon plan local d'urbanisme ne suffit pas.

3.3 Cas des voies de circulation

La pressurisation étant un phénomène retardé, il est admis de faire jouer les plan d'urgence (mesures de police délégués dans le cas du POI, PPI) pour interrompre la circulation.

4 JUSTIFICATION DE L'EXCLUSION DES RESERVOIRS DE PLUS DE 20 M DE DIAMETRE

L'exclusion des réservoirs d'un diamètre supérieur ou égal à 20 m part d'un double postulat :

- les réservoirs d'un diamètre supérieur à 20 m pris dans un feu de cuvette deviennent frangibles, **même si ce n'est pas le cas à froid (et si cela n'est pas démontré dans les codes de calcul)**. Le caractère frangible est favorisé en cas de feu enveloppant par l'affaiblissement de la liaison robe toit sous l'effet d'augmentation de la température. Cette hypothèse est justifiée, pour des réservoirs typiquement construits selon les codes habituels (API 650, CODRES, NF EN 14015), d'un diamètre suffisant (> 20 m), sauf pour des géométries très particulières (réservoirs sphérique, raccord robe toit tangent) ou des types de réservoirs dont on ne connaît pas bien le comportement (réservoirs rivetés). Il doit y avoir un angle à la liaison robe-toit.
- Les effets d'une pressurisation d'un réservoir frangible sont faibles et s'inscrivent dans ceux du feu de cuvette préexistant. Cette hypothèse est également justifiée comme le montre la figure 1.

Comme la pression de rupture est une fonction décroissante du diamètre de réservoir, il en résulte que les distances d'effets de la pressurisation mesurées à partir du bord de la cuvette, sont relativement constantes.

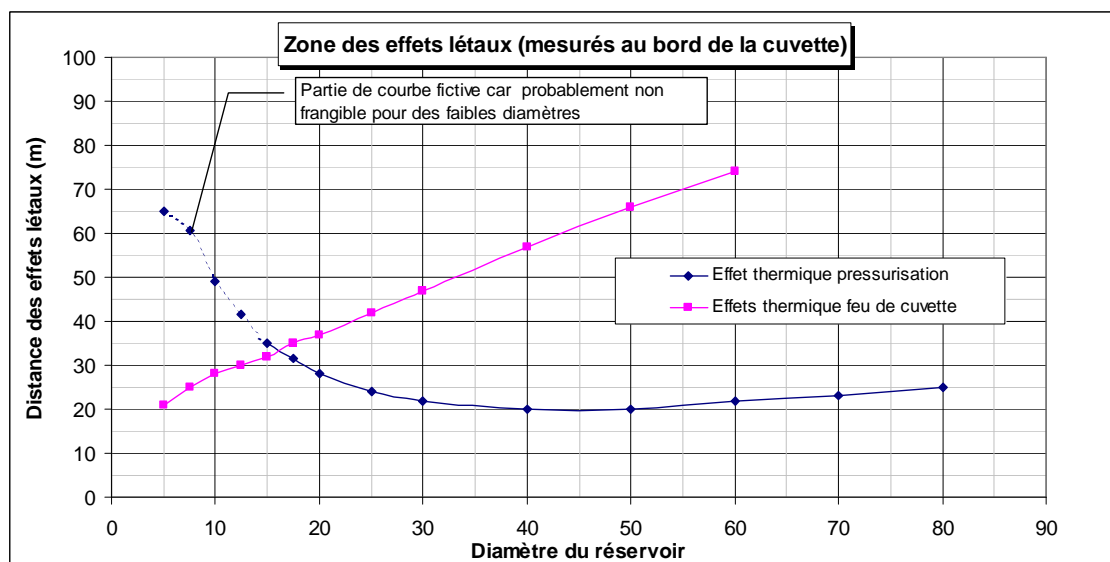


figure 1 : comparaison des effets de la pressurisation et du feu de cuvette

Les distances d'effets thermiques d'un feu de cuvette sont globalement proportionnelles au diamètre du réservoir contenu.

Les hypothèses de la figure 1 sont un réservoir de 12 m de haut, seul dans une cuvette carrée de longueur $2 \times D$.

Les courbes se croisent bien avant 20 m, les effets d'une pressurisation sont bien inférieurs à ceux d'un feu de cuvette. Par conséquent, l'exclusion des réservoirs de diamètre supérieur du périmètre d'application de l'article 15 est cohérente.

5 LA DETERMINATION DE LA FRANGIBILITE

5.1 Les codes possibles

Depuis une vingtaine d'années, les codes (CODRES, API,..) ont formalisé les règles de construction et des caractéristiques suffisantes à la frangibilité des réservoirs. Pour les réservoirs de plus de vingt ans, ce caractère frangible n'est pas remis en cause car les principes des codes sont applicables à des réservoirs plus anciens.

Les principaux codes utilisables sont :

- CODRES (2007) annexe CA2
- NF EN 14015 (2005) annexe K
- API 650 11th ed (2007) §5.10.2.6 & appendix F
- API 937 A (2005)
 - L'API 937 est une variante dérivée de l'API 650 permettant de prendre en compte les petits réservoirs et le niveau de remplissage

Ces codes prennent en compte le rapport entre pression de rupture robe-fond et pression de rupture robe-toit avec **un coefficient de sécurité** variant entre 1.5 et 2. **Ce coefficient ne peut pas être supprimé** (seul un calcul complet aux éléments finis, permet de s'affranchir de ce facteur).

Il y a des différences entre les codes dans les formules de calcul. Mais globalement le ratio entre les pressions de rupture reste le même.

Le standard API 650 a une approche légèrement différente car il considère l'atteinte de la limite élastique dans la zone de compression au lieu de la pression de rupture robe-toit et le début de soulèvement de la robe au lieu de la rupture robe-fond (hypothèses plus prudentes).

C'est ce qui explique des valeurs de pression "de rupture" plus faibles que pour le CODRES ou la NF EN 14015. Le ratio des deux valeurs conduit néanmoins à un résultat similaire à celui obtenu par le CODRES ou la norme NF EN 14015, assurant ainsi une certaine homogénéité en matière de frangibilité.

Chaque code a son domaine préférentiel d'application et est en théorie relié au code de construction du réservoir. Toutefois, et notamment à cause du coefficient de sécurité, **il est raisonnable de les employer pour des réservoirs d'une conception similaire à celle préconisée par le code.**

Les limitations sont les suivantes :

- l'API 650 ne s'adresse qu'aux réservoirs à toit conique, d'un diamètre supérieur à 15 m (50 ft), de pente inférieure ou égale à 1/6, avec une soudure d'angle n'excédant pas 5 mm (cordon à l'extérieur). Dans sa dernière version (11^{ème}), l'API 650 a introduit des critères (plus contraignants) qui permettent de traiter les réservoirs de 9 à 15 m (pente \leq 1/16, bordure annulaire)
- l'API 937 ne s'adresse qu'aux réservoirs à toit conique, mais prend en compte tous les diamètres
- le CODRES 2007 s'adresse à tout réservoir construit selon CODRES – pas de limitation géométrique
- La NF EN 14015, semble pouvoir être employée partout avec les limitations suivantes ($D > 5$ m, tôles ≥ 5 mm, pente $\leq 1/5$)

A l'exception de l'API 937, les codes ne prennent pas en compte le remplissage du réservoir. Les formules du CODRES et de la NF EN 14015 sont basées sur un remplissage à 5 %. L'API 650 considère un réservoir vide. **Ces hypothèses sont conservatrices et conduisent intrinsèquement à sous estimer le caractère frangible.**

Les calculs sont effectués à température ambiante. Les codes de frangibilité ne sont pas adaptés au cas d'un feu enveloppant. La pression de rupture sera plus faible à chaud qu'à froid, et par conséquent la frangibilité favorisée.

Il est également possible de faire un calcul aux éléments finis. **Cette approche plus fine permet de s'affranchir du coefficient de sécurité, et de mieux prendre en compte les spécificités d'un bac donné.**

5.2 Le problème du choix du code

Il est recommandé d'utiliser en priorité le code avec lequel le réservoir a été construit. Cela peut amener à utiliser plusieurs codes sur un même établissement.

Pour les raffineries on fera très probablement appel à l'API 650.

Il n'est pas acceptable de mélanger les codes au sein d'un même calcul, c'est-à-dire de déterminer la pression de rupture robe-toit avec un code et la pression de rupture robe-fond avec un autre code.

Si l'on ne connaît pas le code de construction, ou si l'on utilise un code ancien, la NF EN 14015 représente un bon compromis (c'est le code le plus souple d'emploi).

6 LA DETERMINATION DE LA PRESSION DE RUPTURE

6.1 Codes disponibles

L'évaluation de la pression de rupture de la liaison robe-toit peut se déterminer selon divers codes de calcul disponibles déjà cités dans ce document (API, CODRES, ..). Les calculs de frangibilité passent par le calcul de la pression de rupture.

Les formules donnant les pressions de rupture sont des corrélations issues de simulations aux éléments finis. Elles sont basées sur des centaines de simulations. Elles ont également été validées par des essais réels (exception : API 650, formules dérivées des calculs de mécanique).

La figure 1 présente les pressions de rupture calculées par différents codes pour un panel de réservoirs issus du raffinage et de la logistique pétrolière.

Il y a une relative convergence entre CODRES et NF EN 14015 pour les grands diamètres (> 30 m). Pour les diamètres inférieurs, la NF EN 14015 semble plus conservative.

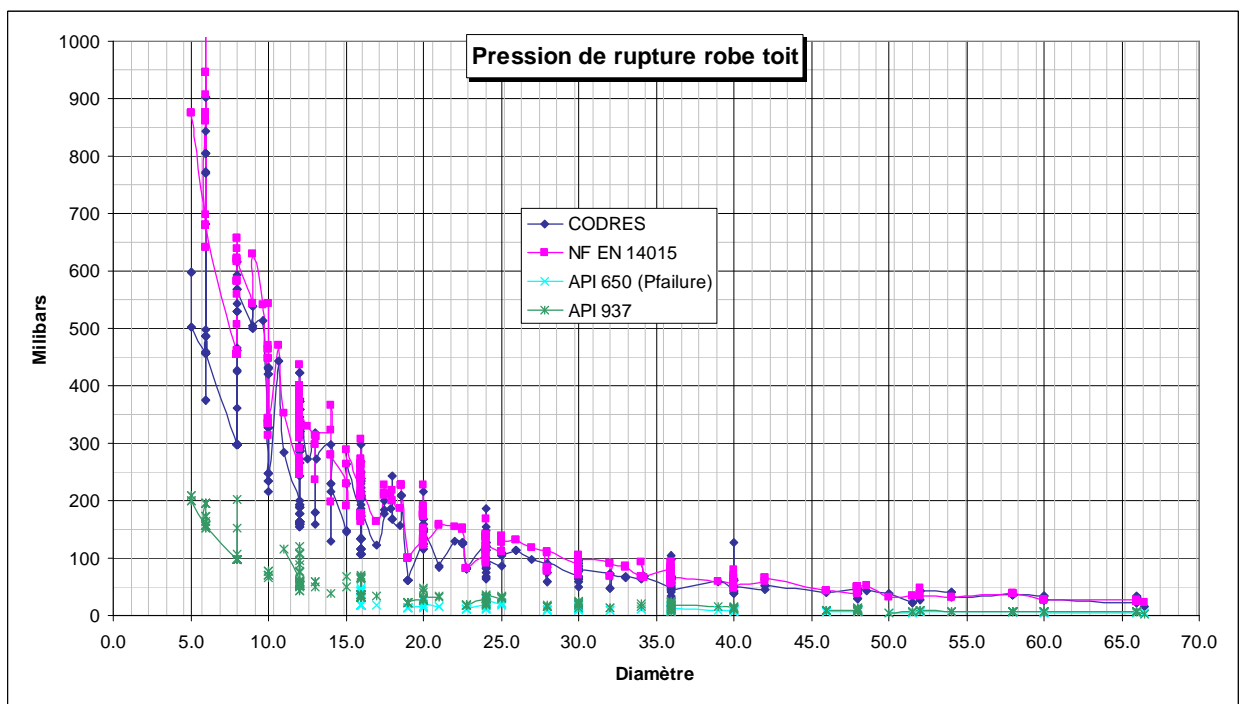


figure 2 : pression de rupture robe-toit selon différents codes

6.2 Cas de l'API 650

L'API 650 donne des pressions de rupture nettement plus faibles que CODRES ou NF EN 14015.

En fait l'API ne calcule pas vraiment une pression de rupture mais la pression à laquelle la zone de compression de la liaison robe-toit atteint la limite élastique, pression à laquelle la rupture pourrait survenir, ce qui explique des valeurs plus faibles.

L'API 650 prend également des hypothèses plus conservatrices pour la rupture du fond. Elle considère le soulèvement de la robe qui intervient de fait avant la rupture du fond.

La comparaison de ces deux hypothèses conservatrices est homogène et la vérification de frangibilité n'en est pas affectée, mais la valeur de pression de « rupture » selon l'API 650 n'est pas conservatrice pour un calcul d'effet. Il convient par conséquent de retenir une autre valeur pour l'estimation des effets du phénomène de pressurisation.

L'API 937 modifie légèrement la formule de l'API 650 mais l'ordre de grandeur reste le même.

6.3 Choix de la formule de calcul pour la pression de rupture

Il se pose toutefois un problème de cohérence entre le code utilisé pour la frangibilité et celui utilisé pour la détermination de la pression de rupture.

Si l'on utilise le CODRES pour déterminer la frangibilité, il est logique d'utiliser les pressions du CODRES et réciproquement pour la NF EN 14015.

Si l'on utilise l'API il faut par contre prendre une pression de rupture autre, par exemple issue de l'approche forfaitaire simplifiée exposée ci-dessous. A noter qu'une faible pression de rupture diminue les effets liés à la pressurisation mais augmente les surfaces d'évent nécessaires pour prévenir ce phénomène.

6.4 Approche forfaitaire simplifiée

Si l'on n'a pas accès aux codes de réservoirs, on peut utiliser la formule simplifiée suivante :

$$P_{\text{rupture robe-toit}} \text{ (en mb)} = 12500 \text{ (Diamètre)}^{-1.4}$$

Cette formule représente une enveloppe des pressions calculées selon CODRES ou NF EN 14015.

A défaut de la connaissance de la valeur de pression de rupture selon CODRES ou NF EN 14015, il est recommandé d'utiliser cette approche simplifiée pour estimer de façon conservatrice les effets du phénomène de pressurisation

6.5 Importance de la pression de rupture

Quelle que soit la taille du réservoir, les effets sont globalement constants jusqu'à 60 mb (influence du volume gazeux accumulé) puis croissent à partir de 75 mb

Le choix du code ne se pose donc que dans l'intervalle 15 – 20 m (éventuellement 9- 20 m), compte tenu du domaine d'emploi de l'API 650.

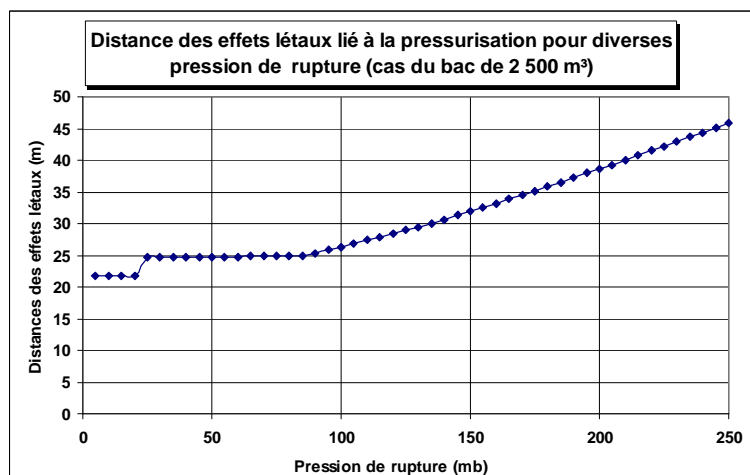


Figure 3 : distance des effets de la pressurisation en fonction de la pression de rupture

7 CHOIX DES FORMULES DE CALCUL DES EFFETS POUR LES RESERVOIRS NON FRANGIBLES

Le modèle décrit dans la note de la DPPR du 23/12/2008³ (modèle UFIP de pressurisation) ne s'applique qu'aux réservoirs pour lesquels il est démontré que la liaison robe-toit cède avant la liaison robe-fond. Réglementairement cela correspond à la frangibilité. Si le réservoir n'est pas frangible il faut appliquer d'autres modèles.

La circulaire du 23 juillet 2007 renvoie sur l'IT 89. L'annexe associée indique qu'il faut prendre en compte 10 % de la masse initiale contenue.

La note du 23/12/2008 permet aussi d'utiliser le modèle complet Boil-Over $\Omega 13^4$,

Bien que le phénomène décrit ne soit pas un boil-over, il semble cohérent de préconiser le recours au modèle Oméga 13 lorsque le modèle UFIP de pressurisation présenté dans la note du 23/12/2008, n'est pas applicable et que le produit peut réellement donner lieu à boil-over, dans la mesure où il reste plus abouti que la description simpliste des formules de l'IT89.

Dans le cas des coupes légères ou de substances pures (donc non susceptibles de donner lieu à boil over), il ne restera pas d'autre choix que d'appliquer les formules de l'IT89 si le modèle UFIP de pressurisation n'est pas applicable (réservoir non frangible) :

$$\text{distance effets létaux} = 5.86 M^{0.33}$$

Avec $M = 10\%$ de la masse contenue dans le réservoir (en kg)

8 INFLUENCE DU REMPLISSAGE – API 937

Le poids du liquide limite le soulèvement de la robe et augmente donc la pression de rupture robe-fond. Le poids du liquide augmente aussi les contraintes de cisaillement en fond, ce qui est défavorable à la frangibilité. Néanmoins le bilan est positif et le remplissage est donc globalement favorable à la frangibilité.

En exploitation, un réservoir est toujours rempli au dessus du niveau de perte d'aspiration des pompes pour les distillats et au-dessus du seuil de flottaison de l'écran ou du toit pour les essences.

A l'exception de l'API 937, les codes ne prennent pas en compte le remplissage du réservoir. Les formules du CODRES et de la NF EN 14015 sont basées sur un remplissage à 5 % (point confirmé par le SNCT). L'API 650 considère un réservoir vide.

Le code API 937 propose des formules pour évaluer la frangibilité en fonction du remplissage. Un logiciel utilitaire a été développé à ce sujet (Logiciel SAFEROOF⁵).

On pourrait ainsi envisager de calculer des effets sur une base IT89, jusqu'à un certain taux de remplissage, puis le réservoir devenant frangible, utiliser la formule UFIP. Le gain semble toutefois faible (pour un calcul qui deviendrait complexe). Rappel l'API 937 n'a pas de limitation de diamètre, mais ne s'applique qu'aux réservoirs à toit coniques.

³ Disponible sur le site AIDA INERIS

⁴ Disponible sur le site de l'INERIS

⁵ Disponible sur <http://www.thunderheadeng.com/saferoof/> (mais uniquement en unités US)

9 CALCUL DE LA SURFACE D'ÉVÉNEMENTS

9.1 Choix de la pression "de tarage" des événements.

Le calcul nécessite de déterminer une pression. Plusieurs approches sont possibles :

9.1.1 PRESSION DE DESIGN

L'annexe de la circulaire du 23 juillet 2007 fait référence à la pression de design. La "pression de design" est typiquement 5 mb avec charpente interne, 25 mb sans charpente interne pour un gros réservoir.

La pression de design n'est pas une référence pertinente. Un réservoir peut résister à plus, cette valeur étant destinée au calcul des armatures, et non de l'enveloppe.

La référence à la pression de design ne figure pas dans le texte de l'article 15 qui ne parle que de « surpression à évacuer » sans préciser l'origine de la valeur.

9.1.2 PRESSION DE DESIGN MAXI ADMISSIBLE

Compte tenu des épaisseurs mini de tôle et des choix qui sont faits, il est tout à fait possible que le réservoir supporte sans effort excessif une pression supérieure au design initial.

Le point limitant étant normalement la tenue de la zone de compression, la pression de design maxi admissible est la pression pour laquelle la zone de compression subit la contrainte maxi admissible par le code.

Cette pression se calcule facilement en faisant à l'envers le calcul de l'aire de la zone de compression.

Cela est surtout utile pour les petits réservoirs, les grands réservoirs étant calculés sans marge excessive, la P design max admissible est la P design (convergence vers 5 mb !).

En l'absence de toute donnée, on peut utiliser cette formule approchée (provenant de la linéarisation de valeurs issues de la NF EN 14015) :

$$P \text{ design max (en mb)} = 750 (\text{Diamètre (en m)})^{-1.2}$$

9.1.3 UNE FRACTION DE LA PRESSION DE RUPTURE

En cas de pressurisation, le réservoir peut être considéré comme perdu, et une incursion dans le domaine plastique du métal le constituant est envisageable : il est donc admissible de dépasser la limite élastique. Il convient toutefois de ne pas dépasser la plus faible des pressions de rupture si l'on souhaite conserver intègre la fonction de confinement du réservoir.

Il faut également savoir que pour des raisons de prudence dans les codes (CODRES et NF EN 14015) :

- la pression calculée de rupture de la liaison robe fond calculée est sous-estimée par rapport à la pression de rupture réelle de la liaison,
- la pression calculée de rupture de la liaison robe-toit calculée est surestimée par rapport à la pression de rupture réelle de la liaison.
- Il persiste des incertitudes sur les valeurs de pression de rupture calculées selon les codes

Il convient donc de considérer une valeur de « pression à évacuer » telle que l'on n'atteigne jamais la pression de rupture de chaque réservoir en considérant la plus faible des liaisons (robe-toit ou robe-fond). Une valeur égale à une fraction de la pression de rupture Min (P rupture robe toit, P rupture robe fond) peut dans cette optique être retenue.

Il est important de préciser que toutes les ouvertures susceptibles de permettre d'évacuer une éventuelle surpression sont à comptabiliser pour le calcul de la surface d'événements. Ainsi seront notamment pris en compte les événements de respiration, les soupapes tarées, les ouïes de respiration pour les réservoirs à toit fixe avec écran flottant interne, etc...

9.2 Calcul final de la surface

Le calcul utilisera la formule de l'annexe 1 de l'arrêté

La surface cumulée Se des événements d'un réservoir à toit fixe et d'un réservoir à écran flottant est calculée selon la formule suivante :

$$Se = \frac{U_{fb}}{3600 Cd} \cdot \left(\frac{\rho_{air}}{2 \Delta P} \right)^{0,5}$$

ρ_{air} : masse volumique de l'air (= 1,3 kg/m³).

Cd : coefficient aéraulique de l'événement (entre 0,6 et 1).

Δp : surpression devant être évacuée en pascals.

U_{fb} : débit de vaporisation en normaux mètres cubes par heure de vapeur (ou d'un mélange vapeur-air), calculé selon la formule suivante :

$$U_{fb} = 70900 \cdot A_w^{0,82} \frac{Ri}{H_v} \cdot \left(\frac{T}{M} \right)^{0,5}$$

A_w : surface de robe au contact du liquide inflammable contenu dans le réservoir, en mètres carrés (avec une hauteur plafonnée à 9 mètres).

H_v : chaleur de vaporisation en joules par gramme.

M : masse molaire moyenne de la phase gazeuse évacuée en grammes par mole.

Ri : coefficient de réduction pour prendre en compte l'isolation thermique ; ce facteur est pris égal à 1 correspondant à l'absence de toute isolation.

T : température d'ébullition du liquide inflammable en kelvins.

On peut signaler que cette formule fait intervenir un coefficient aéraulique de l'événement, notion qui n'est normalement pas utilisée pour les faibles valeurs de delta P. Les codes tels que l'API 2000 / NF EN ISO 28300 s'arrêtent en fait au débit d'air équivalent, et c'est le fournisseur d'événement qui dimensionne l'événement selon son expertise en la matière.